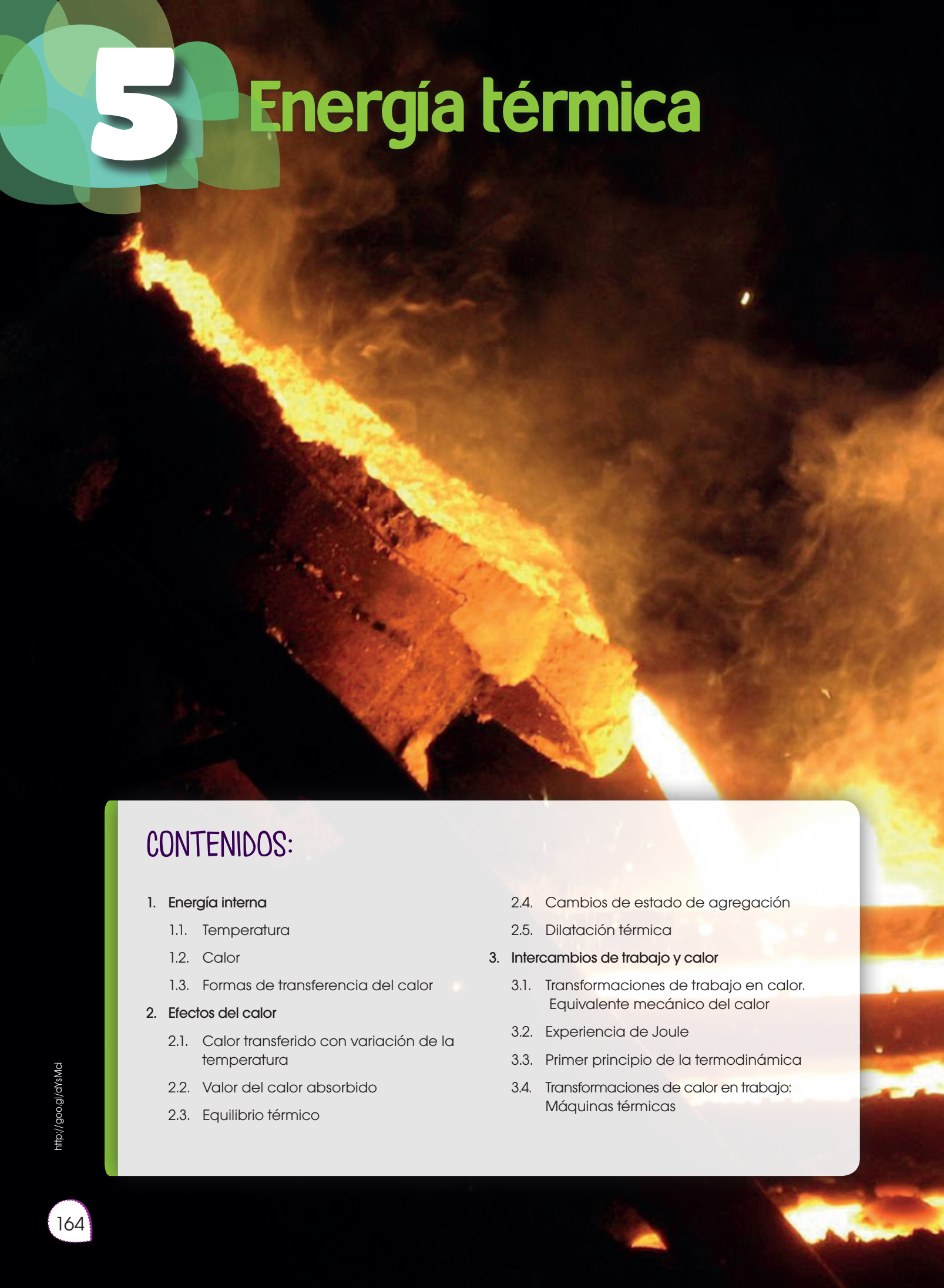
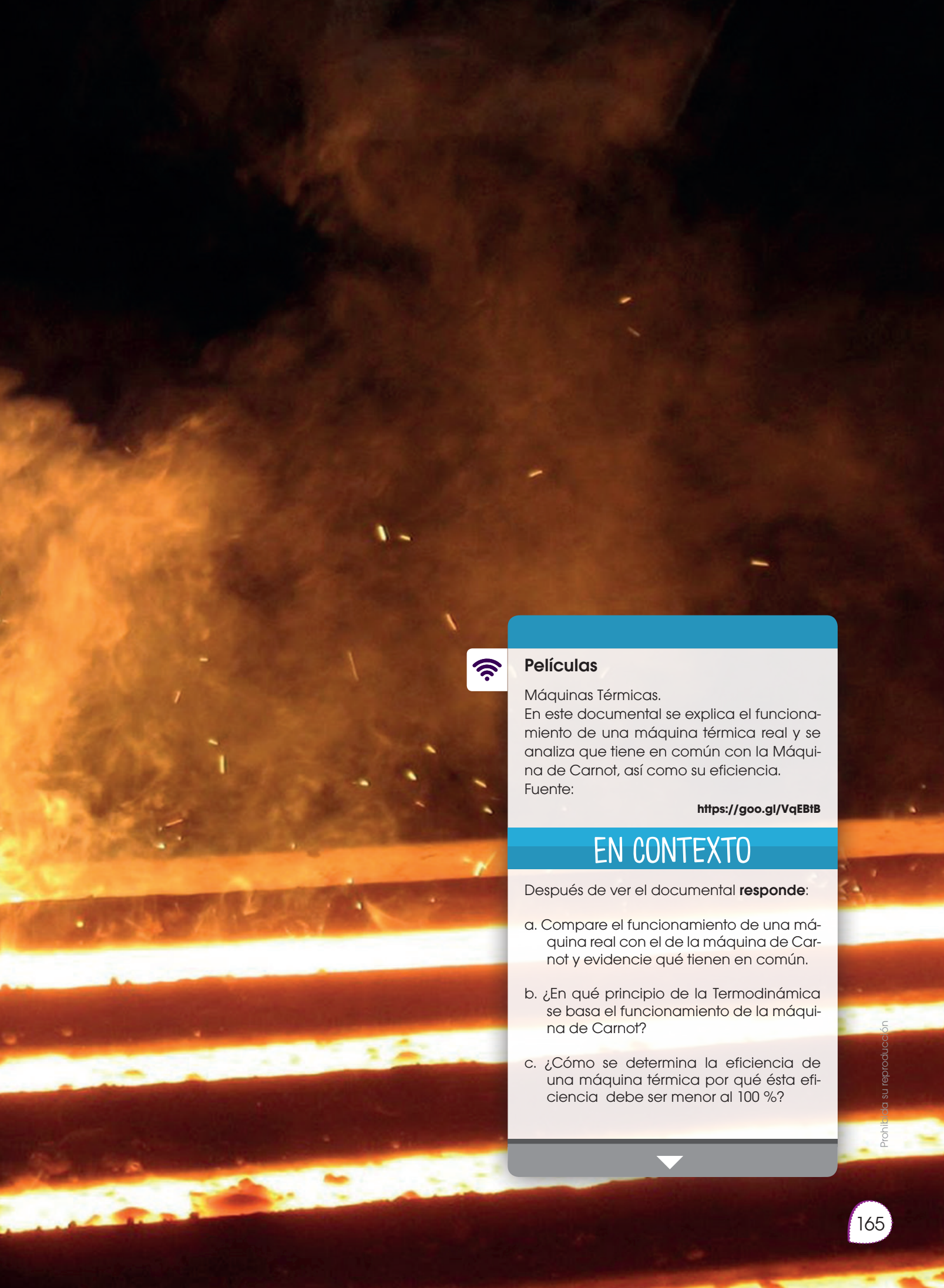
5 Energía térmica



CONTENIDOS:

1. **Energía interna**
   - 1.1. Temperatura
   - 1.2. Calor
   - 1.3. Formas de transferencia del calor
2. **Efectos del calor**
   - 2.1. Calor transferido con variación de la temperatura
   - 2.2. Valor del calor absorbido
   - 2.3. Equilibrio térmico
   - 2.4. Cambios de estado de agregación
   - 2.5. Dilatación térmica
3. **Intercambios de trabajo y calor**
   - 3.1. Transformaciones de trabajo en calor. Equivalente mecánico del calor
   - 3.2. Experiencia de Joule
   - 3.3. Primer principio de la termodinámica
   - 3.4. Transformaciones de calor en trabajo: Máquinas térmicas

http://goo.gl/dYsMci



Películas

Máquinas Térmicas.
En este documental se explica el funcionamiento de una máquina térmica real y se analiza que tiene en común con la Máquina de Carnot, así como su eficiencia.
Fuente:

https://goo.gl/VqEBtB

EN CONTEXTO

Después de ver el documental **responde**:

a. Compare el funcionamiento de una máquina real con el de la máquina de Carnot y evidencie qué tienen en común.

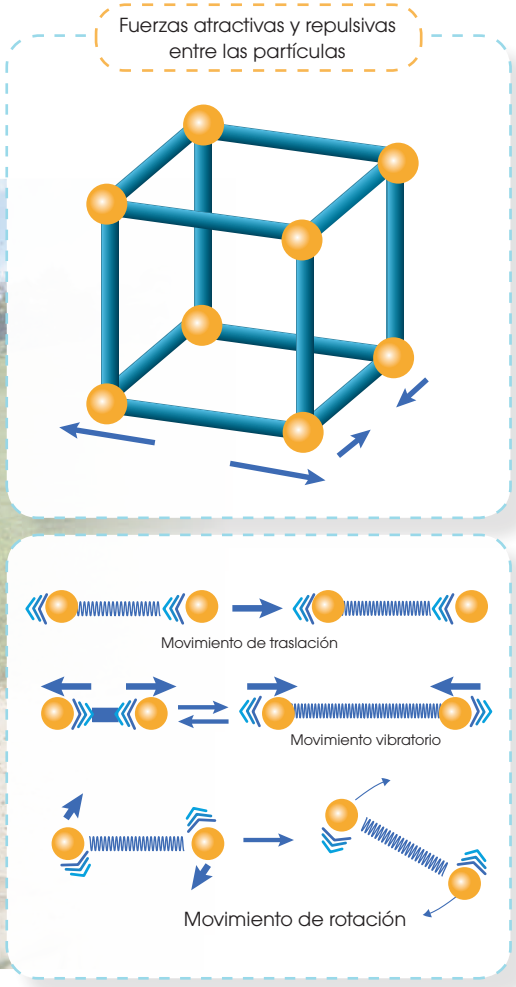
b. ¿En qué principio de la Termodinámica se basa el funcionamiento de la máquina de Carnot?

c. ¿Cómo se determina la eficiencia de una máquina térmica por qué ésta eficiencia debe ser menor al 100 %?

Prohibida su reproducción

I. ENERGÍA INTERNA

Cualquier cuerpo posee cierta energía por el hecho de estar en movimiento o de tener altura sobre el nivel del suelo. Pero, ¿poseen los cuerpos otras energías?



La pelota de golf posee:

- **Energía potencial gravitatoria**, debido a la posición que ocupa respecto al suelo.
- **Energía cinética**, a causa de su estado de movimiento.

Las **partículas** de la pelota, incluso cuando está en reposo, poseen:

- **Energía potencial,** debida a las fuerzas atractivas y repulsivas entre las partículas.
- **Energía cinética**, a consecuencia de sus movimientos de traslación, vibración y rotación.

La energía cinética, asociada a los distintos tipos de movimiento de las partículas, y la energía potencial, debida a las fuerzas atractivas y repulsivas entre las partículas, contribuyen a la energía interna total de los cuerpos.

Llamamos energía interna (U) de un cuerpo a la energía total de las partículas que lo constituyen, es decir, a la suma de todas las formas de energía que poseen sus partículas: átomos, moléculas e iones.

Es fácil comprender que la energía interna es una magnitud extensiva, porque es directamente proporcional a la masa del cuerpo y al movimiento.Esta energía nos permite definir dos conceptos bien conocidos desde la Antigüedad, pero cuyo significado no es fácil de precisar: temperatura y calor.

Prohibida su reproducción

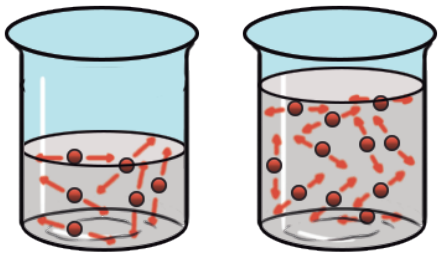
1.1. Temperatura

Podemos distinguir, al tacto, si un cuerpo está más caliente que otro. En ese caso decimos que el primero está a mayor temperatura que el segundo. Pero ¿qué contienen realmente los cuerpos para tener temperatura más elevada que otros?

Según la **teoría cinético-molecular de la materia**, las partículas de los cuerpos se mueven constantemente con velocidades variables.

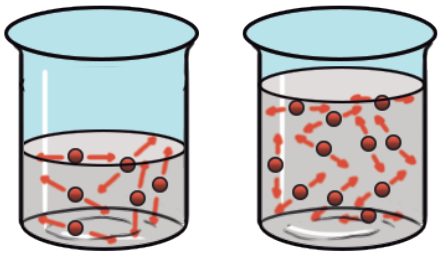
Este movimiento recibe el nombre de agitación térmica y revela que poseen energía cinética. Un cuerpo tiene mayor agitación térmica si sus partículas se mueven a mayor velocidad.

Energía cinética total y energía cinética media



Agitación térmica de las partículas de *a* > Agitación térmica de las partículas de *b*

- Como la agitación térmica de las partículas en a es mayor que en b, las partículas de a tienen mayor energía cinética media que las de b.



Agitación térmica de las partículas de *a* = Agitación térmica de las partículas de *b*

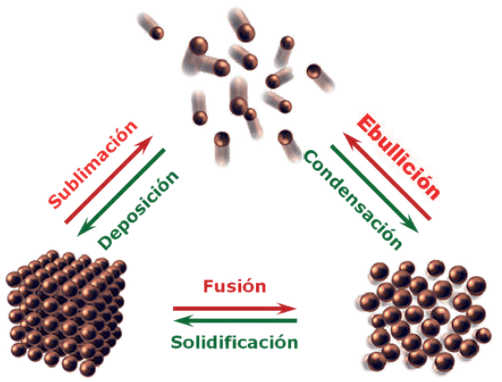
- Como la agitación térmica de las partículas en a y en b es igual, la energía cinética media de éstas es igual en *b* que en *a*.
- Como el recipiente b contiene más partículas que a, las partículas de b tendrán mayor energía cinética total.

Así, diremos que:

— Como la **energía cinética total** de las partículas de un cuerpo depende de su número, es una magnitud extensiva.

— Como la **energía cinética media** de las partículas de un cuerpo no depende de su número, es una magnitud intensiva.

Aunque no todas las partículas poseen el mismo valor de energía cinética, se puede obtener su valor medio para cada cuerpo. Conocido este, podremos afirmar que el cuerpo cuyas moléculas tengan mayor energía cinética media estará a mayor temperatura.



HTTP://GOO.GL/ISZLDF

La temperatura de los cuerpos es una medida de la energía cinética media de sus partículas, de modo que un cuerpo está a mayor temperatura que otro si la energía cinética media de sus partículas es mayor.

Como el valor de la energía cinética media no depende del número de partículas de un cuerpo, el valor de la temperatura tampoco.

Prohibida su reproducción

Y TAMBIÉN: ¿?

Cero absoluto: temperatura a la cual cesa toda agitación térmica y es, por tanto, la mínima temperatura concebible, sin embargo esta no la puede alcanzar un cuerpo. El cero absoluto es un límite inferior inalcanzable.

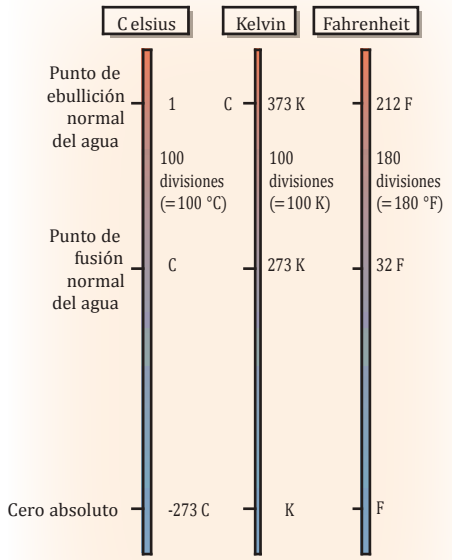


Fig. 1.

Termómetros

Son los instrumentos utilizados para medir la temperatura de los cuerpos y se caracterizan por:

— Alcanzar **rápidamente** la misma temperatura que el cuerpo con el que se ponen en contacto.

— **Medir la temperatura** de una manera **indirecta**; es decir, en realidad, miden una propiedad física relacionada con la temperatura.

Esta propiedad:

- Presenta siempre el mismo valor a una temperatura dada.
- Experimenta las mismas variaciones para los mismos cambios de temperatura.

Por ejemplo, en los termómetros de mercurio, este metal líquido experimenta una dilatación proporcional a su temperatura.

Escalas de temperatura

Para expresar numéricamente la temperatura se utilizan las escalas termométricas. Todas ellas atribuyen un valor arbitrario a ciertos puntos fijos y dividen la escala en determinado número de divisiones iguales.

En la tabla 1 y en la figura 1 se describen las tres escalas de temperatura más utilizadas: *Celsius, Kelvin (o escala de temperaturas absolutas) y Fahrenheit.*

Estas tres escalas de temperatura utilizan puntos de fusión y ebullición normales, es decir, a 1 atm (101 293 Pa) de presión.

Escala Celsius	Escala Kelvin	Escala Fahrenheit
Asigna el v alor 0 °C (cero grados Celsius) al punto de fusión normal del agua y 100 °C, al punto de ebullición normal del agua. El intervalo entre las dos temperaturas se divide en 100 partes iguales llamadas grados Celsius. Estas divisiones son iguales que las de la escala Kelvin. • Equivalencia entre la temperatura Celsius (t_c) y la Kelvin (T): $T = t_c + 273$ • Equivalencia entre la temperatura Celsius (t_c) y la Fahrenheit (t_F): $\frac{t_c}{5} = \frac{t_F - 32}{9}$	Asigna el v alor 0 K (cero kelvin) a la temperatura llamada cero absoluto. El punto de fusión normal del agua corresponde a 273,15 K y el de ebullición normal, a 373,15 K. Las divisiones de esta escala, llamadas kelvins, son iguales que las de la escala Celsius . El kelvin es la unidad utilizada en el Sistema Internacional (SI). Usualmente tomamos la temperatura de 273 K como la correspondiente a 0 °C, redondeando el valor de 273,15 K. • Equivalencia entre la temperatura absoluta (T) y la Celsius (t_c): $T = t_c + 273$	Asigna el valor de 32 °F (32 grados Fahrenheit) al punto de fusión normal del a gua y 212 °F, al punto de ebullición normal del agua. El intervalo entre ambas temperaturas se divide en 180 partes iguales llamadas grados Fahrenheit. Ésta es la escala usada comúnmente en Estados Unidos , Gr an Bretaña y otros países de su influencia. • Equivalencia entre la temperatura F ahrenheit (t_F) y la temperatura Celsius (t_c): $\frac{t_c}{5} = \frac{t_F - 32}{9}$

Tabla 1.

Prohibida su reproducción

Ejemplo 1

Un boletín de noticias de Estados Unidos informa que la temperatura en Florida es de 91 °F. ¿A cuántos grados Celsius corresponde? ¿Y a cuántos kelvins?

— **Datos:** $t_F = 91\ °F$

— La equivalencia entre temperatura Celsius y temperatura Fahrenheit es:

$$\frac{t_C}{5} = \frac{t_F - 32}{9} \quad \text{De donde,} \quad t_C = \frac{5}{9}(t_F - 32) = \frac{5}{9}(91 - 32) = 32{,}8\ °C$$

— La equivalencia entre temperatura Celsius y temperatura Kelvin es:

$$T = t_C + 273 = 32{,}8 + 273 = 305{,}8\ K$$

— La temperatura 91 °F equivale a 32,8 °C y a 305,8 K.

Ejemplo 2

Expresa en grados Fahrenheit y en Kelvins 37 °C.

— Datos: $t_C = 37\ °C$

— La equivalencia entre la temperatura Celsius y la temperatura Fahrenheit es:

$$\frac{t_C}{5} = \frac{t_F - 32}{9} \quad \text{De donde,} \quad t_F = \frac{5}{9}t_C + 32 = \frac{9}{5}37 + 32 = 98{,}6\ F$$

— La equivalencia entre la temperatura Kelvin y la temperatura Celsius es:

$$T = t_C + 273 = 37 + 273 = 310\ K$$

La temperatura 37 °C equivale a 98,6 °F y a 310 K.

Actividades

1. **Disponemos** de dos recipientes que contienen 1 L de agua fría y 1 L de agua caliente, respectivamente. **Justifica** si la energía cinética media de las partículas de agua será igual en ambos recipientes. ¿Y la temperatura?
2. **Ponemos** sobre el fuego un cazo de agua fría. **Responde**:

— ¿Qué le ocurrirá a la temperatura del agua transcurridos unos minutos?

— ¿Qué le ocurrirá a la energía cinética media de las moléculas de agua?

3. **Explica** por qué la temperatura de un cuerpo no depende de su cantidad de masa.
4. **Explica** por qué cuando nos ponemos el termómetro para medir la temperatura de nuestro cuerpo debemos esperar unos minutos antes de efectuar la lectura.

Y TAMBIÉN: ¿?

El termómetro de Galileo

En 1592, el científico italiano Galileo Galilei (1564-1642) construyó un instrumento que puede considerarse el primer termómetro. Consistía en un delgado tubo de vidrio con un extremo cerrado y ensanchado en forma de ampolla.

Se calentaba el aire del tubo y se introducía su extremo abierto en una cubeta con agua coloreada. Al enfriarse el aire, se contraía y el líquido ascendía por el interior del tubo. Por el contrario, si se calentaba el aire de la ampolla, este se dilataba y el líquido descendía.

Al carecer de escala termométrica no era posible efectuar medidas cuantitativas de la temperatura.

http://goo.gl/eXpaEh

Prohibida su reproducción

Y TAMBIÉN: ¿?

La unidad de calor del SI es el julio (J), la misma que para la energía, pues el calor es una forma de energía transferida.

1.2. Calor

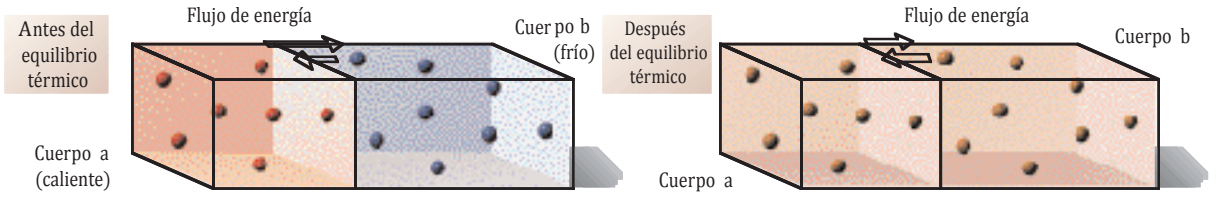
Sabemos que para calentar la comida debemos poner sobre el fuego los recipientes que la contienen. Este hecho tan común nos permite plantearnos preguntas como:

- ¿Por qué aumenta la temperatura de la comida?
- ¿Qué transfiere el fuego a la comida?

Podemos encontrar las respuestas si consideramos los cuerpos desde un punto de vista microscópico, es decir, si tenemos en cuenta el comportamiento de sus partículas.

El desarrollo de la teoría cinético-molecular de la materia ha conducido a la formulación de una teoría cinética del calor, que interpreta el calor como una forma de energía transferida.

Cuerpos a diferente temperatura	⇒	Cuerpos a igual temperatura



El cuerpo *a* está a mayor temperatura que el cuerpo *b* y, por tanto, la energía cinética media de sus partículas es mayor. Al poner en contacto ambos cuerpos, las partículas del cuerpo *a* transfieren a las del cuerpo *b* parte de su energía.

También se produce cierta transferencia de energía, aunque menor, del cuerpo *b* al cuerpo *a*.

En el momento en que el flujo de energía llega a ser igual en los dos sentidos, se dice que los cuerpos a y *b* han alcanzado el **equilibrio térmico**: los dos están a la misma temperatura.

Esta energía que se ha transferido entre los dos cuerpos para alcanzar el equilibrio térmico es lo que denominamos calor o energía térmica. *La energía transferida entre dos cuerpos debido a una diferencia de temperatura se denomina calor o energía térmica.*

Foco calorífico

Cuando un cuerpo **recibe calor**, aumenta su energía interna y, como consecuencia, aumenta su temperatura.

Foco frío

Cuando un cuerpo **cede calor**, disminuye su energía interna y, como consecuencia, disminuye su temperatura.

Actividades

5. Dado un cuerpo A a mayor temperatura que un cuerpo B:
   - ¿En qué caso B tendrá más energía interna que A?
   - En el caso anterior, ¿cómo explicarías que A ceda energía a B ?
6. Razona si es correcta la siguiente expresión: El agua a 80 °C tiene mucho calor. Si es incorrecta, corrígela.
7. Un recipiente contiene agua fría y otro, agua caliente.
   - ¿Podrían tener la misma cantidad de energía interna las dos masas de agua? **Explica** en qué condiciones.
   - ¿Podrían tener la misma energía cinética media? ¿Por qué?

Prohibida su reproducción

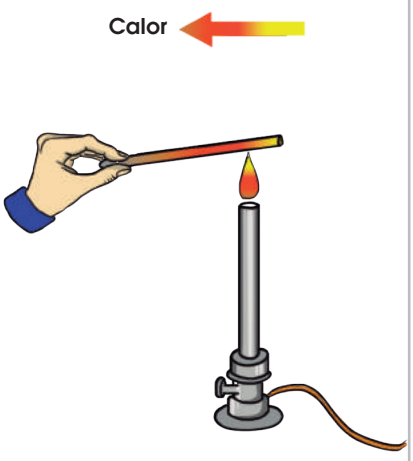
Formas de transferencia del calor

¿Te has preguntado alguna vez si es imprescindible el contacto físico entre el foco calorífico y el cuerpo para que este se caliente? La experiencia nos dice que no.
Se distinguen tres formas distintas de transferencia de la energía térmica que se denominan conducción, convección y radiación.

Conducción

Si sujetamos una barra metálica por un extremo y acercamos el otro extremo a una llama, al poco tiempo notamos que nos llega calor.
Las partículas de la barra no abandonan su posición pero, al vibrar, chocan con las partículas próximas transmitiéndoles energía cinética.
Así, va aumentando la temperatura del sólido desde un extremo a otro.

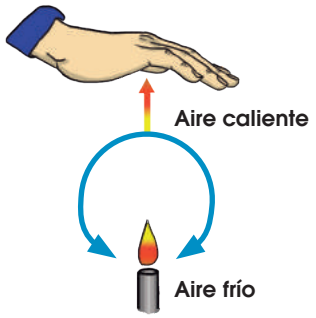
La transferencia de calor que tiene lugar por transmisión de energía de unas partículas a otras sin desplazamiento de estas se denomina **conducción**



Convección

Si colocamos la mano por encima de una llama notamos que nos llega calor.
El transporte de la energía térmica es efectuado por las moléculas del aire próximas a la llama al desplazarse hacia nuestra mano.
La causa de este desplazamiento reside en que el aire caliente se dilata, por lo que pierde densidad y asciende, siendo reemplazado por aire frío, más denso, que desciende.
Estos desplazamientos reciben el nombre de corrientes de convección.

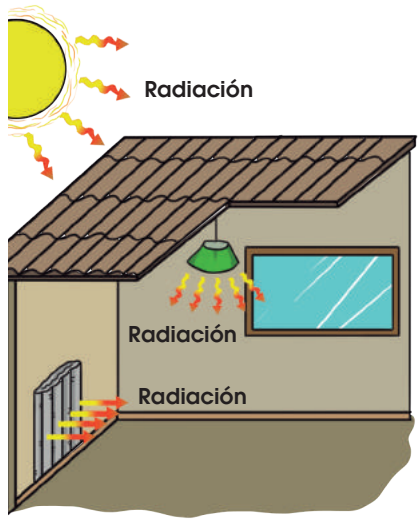
La transferencia de calor que tiene lugar mediante el movimiento de las partículas de un fluido se denomina **convección**.



Radiación

Nuestro planeta recibe la energía térmica procedente del Sol a través del vacío y a la velocidad de la luz.
El Sol emite calor mediante ondas de naturaleza electromagnética.
De modo similar recibimos calor procedente de una bombilla encendida o de un aparato de calefacción.

La transferencia de calor mediante ondas electromagnéticas, sin la intervención de partículas materiales que lo transporten, se denomina **radiación**.



Actividades

8. **Enumera** las diferentes formas de transferencia del calor. **Explica** en qué consisten y **pon** un ejemplo de cada una.
9. **Explica** el siguiente hecho:

Al introducir una cuchara metálica en agua caliente notamos que el calor llega hasta nuestra mano.

10. **Di** qué forma de transferencia del calor tiene lugar al acercar tu mano a un aparato de calefacción:

a. Si tocas directamente el aparato de calefacción.
b. Si colocas la mano a cierta distancia por encima del aparato.
c. Si colocas la mano a cierta distancia lateralmente.

Prohibida su reproducción

Y TAMBIÉN: ¿?

La caloría

Ya sabes que la unidad del SI para medir el calor es el julio. Sin embargo, existe otra unidad de interés histórico que se utiliza todavía para cuantificar la energía térmica. Se trata de la caloría.

Una caloría, cuyo símbolo es cal, es la cantidad de calor que debe recibir un gramo de agua para que su temperatura aumente un grado Celsius.

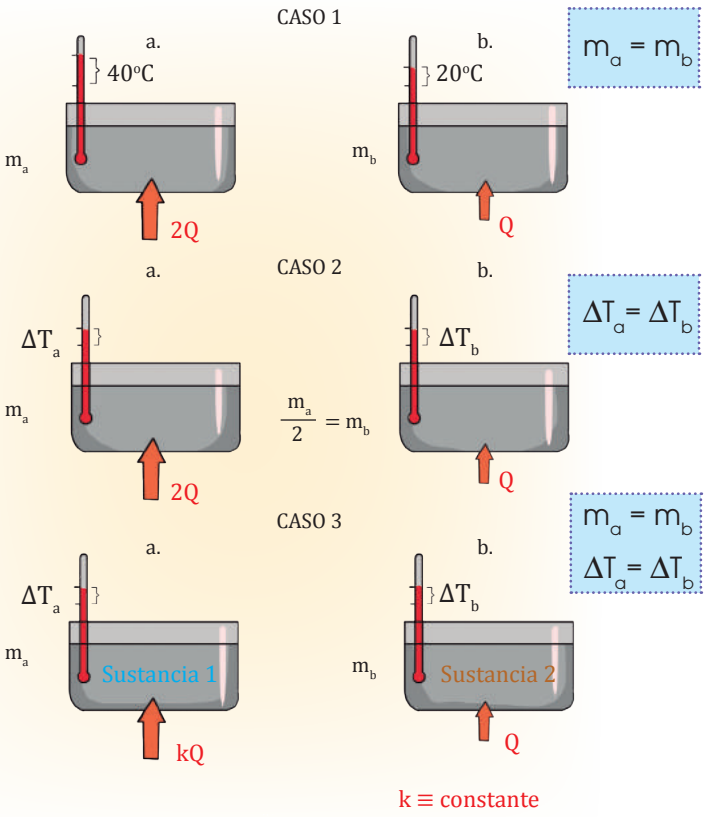
2. EFECTOS DEL CALOR

Sabemos que al suministrar calor a un cuerpo aumenta su energía interna. Aunque no podemos percibir este aumento a simple vista, sí podemos observar sus posibles efectos.

- Aumento de la temperatura: se aprecia con el termómetro.
- Cambio del estado de agregación: observamos el paso, por ejemplo, de sólido a líquido.
- Dilatación del cuerpo: advertimos su aumento de tamaño.

2.1. Calor transferido con variación de la temperatura

Veamos de qué factores depende la cantidad de calor absorbido o cedido por un cuerpo.



Caso 1:

Los recipientes *a* y *b* contienen masas iguales de agua.

- Para que la masa de agua contenida en *a* aumente 40 °C su temperatura y la contenida en *b* aumente 20 °C, el agua de a debe recibir el doble de calor que el agua de *b*.

Caso 2:

El recipiente *a* contiene el doble de agua que el recipiente *b*.

- Para que la temperatura de las dos masas de agua experimente el mismo aumento, el agua de *a* debe recibir el doble de calor que el agua de *b*.

Caso 3:

Los recipientes *a* y *b* contienen masas iguales de sustancias distintas.

- Para que la temperatura de las dos masas experimente el mismo aumento, estas deben recibir distinta cantidad de calor.

La cantidad de calor absorbido o cedido por un cuerpo depende del **incremento de temperatura**, de su **masa** y de su **propia naturaleza**.

La naturaleza de cada sustancia se refleja en una magnitud física denominada calor específico o capacidad calorífica específica.

> Calor específico de una sustancia, c, es el calor que debe recibir la unidad de masa de una sustancia para que aumente un kelvin su temperatura.

El calor específico se mide en $J \times kg^{-1} \times K^{-1}$ en el SI, o lo que es lo mismo, en $J \times kg^{-1} \times ºC^{-1}$, *ya que una variación de un Kelvin es igual a una variación de un grado Celsius*.

Y TAMBIÉN: ¿?

Una variación de la temperatura tiene el mismo valor en la escala Celsius que en la escala Kelvin.

Supongamos, por ejemplo, que un cuerpo incrementa su temperatura de 20 °C a 40 °C.

$T = t + 273 = 40 + 273 = 313\ K$
$T_0 = t_0 + 273 = 20 + 273 = 293\ K$
$T - T_0 = 313\ K - 293\ K = 20\ K$
$t - t_0 = 40\ °C - 20\ °C = 20\ °C$

Es decir: $T - T_0 = t - t_0$

Prohibida su reproducción

Valor del calor absorbido

Los tres factores citados (incremento de la temperatura, Δt, masa del cuerpo, m, y naturaleza del cuerpo) se resumen en la siguiente expresión que permite calcular el **calor absorbido** por un cuerpo.

$$Q = c\ m\Delta t = c\ m\ (t - t_0)$$

Q = calor transferido
c = calor específico
m = masa del cuerpo
t = temperatura final de la variación
t_0 = temperatura inicial de la variación

Esta expresión es válida siempre y cuando los cuerpos no experimenten un cambio de estado de agregación, es decir, cuando todo el calor transferido se emplea en variar la temperatura de los cuerpos.
Un valor de **Q positivo** indica que el **calor es absorbido** por el cuerpo; en cambio, un valor de **Q negativo** significa que el **calor es cedido** por el cuerpo.
Por supuesto, se trata de un convenio de signos. Si en lugar de restar la temperatura inicial a la final *(t − t_0)*, restamos la temperatura final a la inicial *(t_0 − t)*, un valor de Q negativo indicaría calor absorbido y un valor positivo, calor cedido.
Sin embargo, es preferible el convenio que aparece en la fórmula y que considera positivo el calor que **recibe el sistema**.

Y TAMBIÉN: ¿?

Calores específicos de algunas sustancias a 20°C

Sustancia	Calor específico ($J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$)
Agua líquida	4 180
Hielo (–10 °C)	2 090
Vapor de agua (110 °C)	2 010
Etanol	2 424
Aluminio	899
Hierro	443
Cobre	385
Plomo	130
Mercurio	140

Tabla 2.

Una misma sustancia presenta calores específicos distintos según su estado. Además, el calor específico varía con la temperatura.

Ejemplo 3

Una pieza de cobre de 50 g se ha enfriado desde 80 °C hasta 25 °C. **Calcula** el calor que ha cedido.
— Datos:
Calor específico del cobre,

$$c = 385\ J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1} = 385\ J \cdot kg^{-1} \cdot °C^{-1}$$

Masa de la pieza de cobre, $m = 50\ g = 0{,}050\ kg$

Temperatura inicial, $t_0 = 80\ °C$

Temperatura final, $t = 25\ °C$

— Calculamos la variación de la temperatura,

$$\Delta t = t - t_0 = 25°C - 80°C = -55°C$$

— Aplicamos la expresión que nos permite calcular el calor absorbido y sustituimos por los datos del problema:

$$Q = c\ m\ (t - t_0)$$
$$Q = 385\ J \cdot kg^{-1} \cdot °C^{-1} \cdot 0{,}050\ kg\ (-55°C)$$
$$Q = 1058{,}8\ J$$

La pieza de cobre cedió 1 058,8 J.

Ejemplo 4

Una barra de hierro de 5 kg, que estaba a 25 °C, se calentó al recibir 221 500 J. ¿Qué temperatura adquirió?
— Datos:

Calor recibido, $Q = 221\,500\ J$

Calor específico del hierro,

$$c = 443\ J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1} = 443\ J \cdot kg^{-1} \cdot °C^{-1}$$

Masa de la barra $m = 5\ kg$

Temperatura inicial, $t_0 = 25\ °C$

Temperatura final, $t = \text{desconocida}$

— La expresión $Q = c\ m\ (t - t_0)$ nos permite calcular el calor absorbido. De ella despejamos t y sustituimos los datos del problema:

$$Q = c\ m\ t - c\ m\ t_0 \ ; \ c\ m\ t = Q + c\ m\ t_0$$

$$t = \frac{Q + c\ m\ t_0}{c\ m} = \frac{Q}{c\ m} + t_0$$

$$t = \frac{221\,500\ J}{443\ J \cdot kg^{-1} \cdot °C^{-1} \cdot 5\ kg} + 25°C = 125°C$$

La barra adquirió la temperatura de 125°C.

Prohibida su reproducción

Actividades

11. ¿Qué entendemos por equilibrio térmico? ¿Qué característica tienen en común dos cuerpos en equilibrio térmico?

12. Deseamos calentar 250 g de agua desde 20 °C a 40 °C. ¿Cuánto calor se requiere? (Calor específico del agua, $c = 4\,180\ J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$)

13. **Calcula** la masa de una pieza de hierro si se sabe que, para aumentar su temperatura desde 25 °C a 100 °C, necesita absorber 2 508 J. (Calor específico del hierro, $c = 443\ J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$)

14. Catorce gramos de cierta sustancia absorben 2090 J para aumentar su temperatura desde 15 °C a 90 °C. **Calcula** con estos datos su calor específico.

    — **Describe** cómo llevarías a cabo, experimentalmente estas mediciones.

15. Se calentó una pieza de 100 g de un metal a la temperatura de 90 °C para determinar su calor específico y se introdujo rápidamente en un calorímetro que contenía 200 mL de agua a 10 °C. Una vez alcanzado el equilibrio térmico, se observó que la temperatura era de 12 °C. **Calcula** el calor específico del metal.

16. En un calorímetro que contiene 800 g de agua a 7 °C se sumerge una esfera de 100 g de cierto material que se encuentra a 100 °C. Si la temperatura de equilibrio es de 12 °C, ¿cuál es el calor específico del material investigado?

    — ¿Cuánto calor ha cedido la esfera?

TIC

Calcula la capacidad calorífica de un calorímetro y, a continuación, el calor específico del cobre

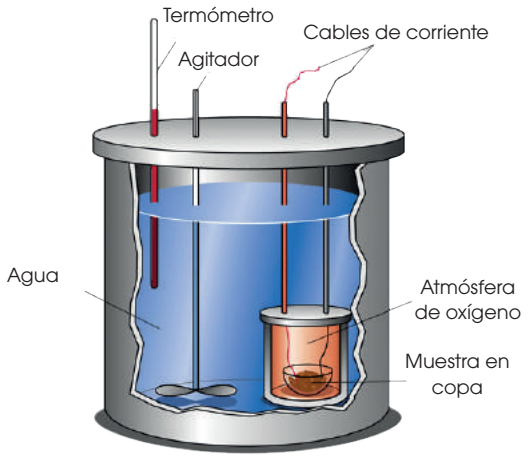
Visita:

http://goo.gl/I1JEaa

Calorímetro

Se trata de un recipiente aislado térmicamente del exterior y que reposa sobre unos pies aislantes. El aislamiento asegura que todo el calor se intercambia entre las sustancias que se introducen en él.

Está provisto de una tapa, también aislante, con unos orificios para introducir un termómetro y un agitador.



http://goo.gl/OvjCOu

Este aparato permite determinar el calor específico de las sustancias. Veamos un ejemplo:

— Colocamos una masa determinada de agua, m_a, en el calorímetro. Lo cerramos, agitamos el agua y medimos su temperatura t_a, cuando alcanza el equilibrio térmico con el recipiente.

— Medimos la masa, m_b, y la temperatura, t_b, de la sustancia cuyo calor específico, c_b, queremos determinar.

— Introducimos la masa, m_b, en el calorímetro y lo cerramos.

— Esperamos a que se alcance el equilibrio térmico y medimos la temperatura, t.

En nuestros cálculos, no tendremos en cuenta la cantidad de calor absorbido o cedido por el calorímetro, por tanto, el calor absorbido por el agua, Q_a, es igual al calor cedido por el cuerpo, Q_b.

$$Q_a = Q_b\ ;\ m_a c_a\ (t - t_a) = m_b c_b\ (t_b - t)$$

$$C_b = \frac{m_a c_a\ (t - t_a)}{m_b\ (t_b - t)}$$

Prohibida su reproducción

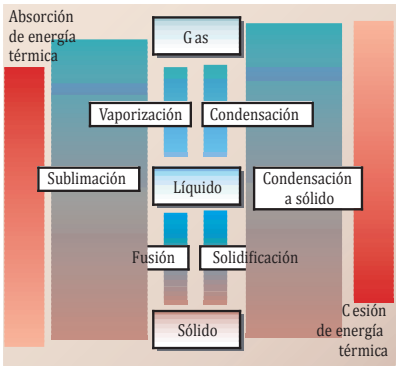


Fig. 2.

Cambios de estado

2.2. Valor del calor absorbido

Si sacamos unos cubitos de hielo del congelador, observaremos que, al cabo de poco tiempo, se transformarán en agua líquida y que, muy lentamente, esta se evaporará convirtiéndose en vapor de agua.

Estas transformaciones reciben el nombre de cambios de estado de agregación y tienen lugar mediante transferencia de calor. En el ejemplo anterior el agua tomó este calor de su propio entorno.

En la figura 2 se representa un esquema de los cambios de estado posibles. Unos tienen lugar mediante absorción de calor por el cuerpo, mientras que otros se producen con cesión de calor por parte de éste.

La **teoría cinético-molecular** de la materia proporciona una explicación de los cambios de estado:

— La **absorción de calor** produce un aumento de la energía cinética y potencial de las partículas del cuerpo. Si se vencen las fuerzas atractivas que existen entre ellas, el sólido pasa a líquido o el líquido pasa a gas.

— La **cesión de calor** supone una disminución de la energía cinética y potencial de las partículas. Esta disminución repercute en un aumento de las atracciones entre ellas, de modo que el gas puede pasar a líquido y el líquido, a sólido.

<table>
<tr><th colspan="2">Fusión</th><th colspan="2">Vaporización</th></tr>
<tr><td colspan="2">Cambio de estado que experimenta una sustancia al pasar de sólido a líquido.
El calor absorbido por un cuerpo en la fusión es igual al calor cedido por éste en la solidificación.</td><td colspan="2">Cambio de estado que experimenta una sustancia al pasar de líquido a gas.
El calor absorbido por un cuerpo en la vaporización es igual al calor cedido por éste en la condensación.</td></tr>
<tr><th>Punto de fusión</th><th>Calor de fusión</th><th>Punto de ebullición</th><th>Calor de vaporización</th></tr>
<tr><td>La fusión de una sustancia pura tiene lugar a una temperatura determinada que recibe el nombre de temperatura de fusión o punto de fusión.
Ésta se mantiene constante mientras tiene lugar el cambio de estado y su valor depende de la sustancia y de la presión externa.
— El agua funde a 0 °C bajo la presión externa de 1 atm (101 293 Pa).
La solidificación es el paso de líquido a sólido y sucede a la misma temperatura que la fusión.</td><td>Cada sustancia requiere una cantidad de calor característica para que se produzca su fusión.
El calor de fusión (L_F) es el calor necesario para que la unidad de masa de una sustancia pase de sólido a líquido a la temperatura de fusión.
Unidad en el SI: $J \cdot kg^{-1}$
— Calor de fusión del agua a 1 atm:
$LF = 333\,500\ J \cdot kg^{-1}$
Calor necesario para fundir una masa m de una sustancia:
$Q = mL_F$</td><td>La ebullición es una forma particular de vaporización que afecta a todo el volumen del líquido.
La ebullición de una sustancia pura sucede a una temperatura determinada que recibe el nombre de temperatura de ebullición o punto de ebullición.
Esta se mantiene constante, mientras tiene lugar el cambio de estado y su
valor depende de la sustancia y de la presión externa.
— El agua hierve a 100 °C bajo la presión externa de 1 atm.
La condensación es el paso de gas a líquido y sucede a la misma temperatura que la ebullición.</td><td>Cada sustancia requiere una cantidad de calor característica para que se produzca su vaporización.
El calor de vaporización (Lv) es el calor necesario para que la unidad de masa de una sustancia pase de líquido a vapor a la temperatura de ebullición.
Unidad en el SI: $J \cdot kg^{-1}$
— Calor de vaporización del agua a 1 atm:
$Lv = 2\,257\,000\ J \cdot kg^{-1}$
Calor necesario para hervir una masa m de una sustancia:
$Q = m\ L_v$</td></tr>
</table>

Prohibida su reproducción

Ejemplo 5

Calcula el calor necesario para transformar totalmente 300 g de hielo a −15 °C en agua líquida a 0 °C.

— Datos: $m = 300\ g = 0{,}3\ kg$; $t_0 = -15\ °C$; $t = 0\ °C$

Este proceso se realizará en dos etapas:

— En primer lugar, necesitaremos suministrar al hielo cierto calor Q_1 para aumentar su temperatura a 0 °C (sin que se produzca cambio de estado).

— En segundo lugar, necesitaremos suministrar al hielo cierto calor Q_2 para fundirlo (sin que se produzca cambio de temperatura). La gráfica de la figura 2 representa el proceso descrito.

— Tramo AB: calor para que el hielo alcance la temperatura de fusión, 0 °C.

$$Q_2 = c\ m\ (t - t_0) = 2\ 090\ J \cdot kg^{-1} \cdot °C^{-1} \cdot 0{,}300\ kg\ [0°C - (-15°C)] = 9\ 405\ J$$

— Tramo BC: calor para fundir el hielo a 0 °C.

$$Q_2 = mL_F = 0{,}300\ kg \cdot 333\ 500\ J \cdot kg^{-1} = 100\ 050\ J$$

— Calor total necesario: $Q = Q_1 + Q_2 = 668\ 800\ J + 4\ 514\ 000\ J = 5\ 182\ 800\ J$

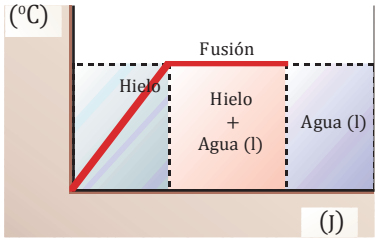


Fig. 2.

Ejemplo 6

Calcula la cantidad de calor necesaria para transformar totalmente 2 L de agua a 20 °C en vapor de agua a 100 °C.

— Datos: $m = 2\ kg = 0{,}3\ kg$; $t_0 = 20\ °C$; $t = 100\ °C$

Este proceso se realizará en dos etapas:

— Debemos suministrar al agua una cantidad de calor Q_1 para aumentar su temperatura hasta 100° C.

— Debemos suministrar al agua una cantidad de calor Q_2 para hervirla.

La gráfica de la figura 3, representa el proceso descrito.

— Tramo AB: calor necesario para calentar el agua hasta 100 °C.

$$Q_1 = c\ m\ (t - t_0) = 4\ 180\ J \cdot kg^{-1} \cdot °C^{-1} \cdot 2\ kg\ (100°C - 20°C) = 668\ 800\ J$$

— Tramo BC: calor necesario para hervir el agua.

$$Q_2 = mL_V = 2\ kg \cdot 2\ 257\ 000\ J \cdot kg^{-1} = 4\ 514\ 000\ J$$

— Calor total necesario: $Q = Q_1 + Q_2 = 668\ 800\ J + 4\ 514\ 000\ J = 5\ 182\ 800\ J$

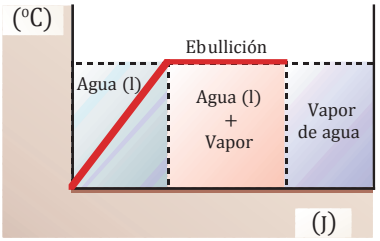


Fig. 3.

Actividades

17. Deseamos fundir 200 g de plomo que están a 25 °C. ¿Cuánto calor se requiere? (Calor específico del plomo, $c = 130\ J \cdot kg^{-1} \times K^{-1}$; punto de fusión del plomo, $t = 327\ °C$; calor de fusión del plomo, $LF = 22\ 990\ J \cdot kg^{-1}$)

18. **Calcula** el calor que hemos de suministrar a 100 g de hielo a −10 °C para transformarlos en agua líquida a 20 °C.

19. Se tienen 10 g de agua a 20 °C a los que suministramos 25 914 J de calor para transformarlos en vapor de agua. **Calcula** la temperatura final.

Puntos normales de fusión y de ebullición de algunas sustancias

Sustancia	Punto de fusión (° C)	Punto de ebullición (°C)
Agua	0	100
Etanol	−117	78
Mercurio	−39	357
Cobre	1 083	2 567
Plata	962	2 212
Plomo	327	1 740
Oro	1 064	3 080

Tabla 3.

Prohibida su reproducción

Coeficientes de dilatación lineal de algunos sólidos a 20°C

Sustancia	Coeficiente de dilatación ($°C^{-1}$)
Plomo	2,9 × 10–5
Aluminio	2,5 × 10–5
Latón	1,9 × 10–5
Cobre	1,7 × 10–5
Hierro	1,2 × 10–5
Vidrio	0,9 × 10–5
Platino	0,9 × 10–5

Tabla4.

Y TAMBIÉN: ¿?

La unidad del SI para los coeficientes de dilatación lineal, superficial y cúbica es $°C^{-1}$, o bien, K^{-1}.

2.3. Equilibrio térmico

Si ponemos un termómetro de mercurio en contacto con un cuerpo a elevada temperatura, observamos que rápidamente se eleva el nivel del mercurio dentro del delgado tubo de vidrio que lo contiene. Diremos que el mercurio ha aumentado su volumen por efecto de un incremento de temperatura. Pero, ¿por qué se produce este efecto?

Cuando un cuerpo absorbe calor, aumenta la energía cinética de sus partículas y se amplían las vibraciones de éstas. De este modo, aumentan la distancia entre partículas y el volumen del cuerpo.

El aumento de volumen que experimentan los cuerpos al elevar su temperatura se conoce como dilatación térmica.

La dilatación térmica afecta a todos los estados de agregación de la materia, aunque su magnitud depende de la intensidad de las fuerzas atractivas entre las partículas. Por eso en los sólidos, donde estas fuerzas son más intensas, la dilatación suele ser menor que en los líquidos; y en éstos, menor que en los gases, donde las fuerzas atractivas son prácticamente inexistentes.

Dilatación de los sólidos

Quizá hayas observado en muchos puentes y edificios la existencia de pequeñas separaciones, llamadas juntas de dilatación, entre distintas partes de la estructura. Estas juntas se construyen en previsión de la dilatación de los cuerpos y, de este modo, se evita la deformación, e incluso, la rotura de la estructura.

Al calentar un sólido, este experimenta una dilatación en todas sus dimensiones que depende del incremento de temperatura y de la naturaleza del sólido. Sin embargo, es útil distinguir tres tipos de dilatación.

Dilatación lineal	Dilatación superficial	Dilatación cúbica
Corresponde a la variación de longitud del sólido. El incremento que experimenta la unidad de longitud al aumentar 1 °C la temperatura se denomina **coeficiente de dilatación lineal** del sólido, λ. $\lambda = \frac{1}{l_0} \cdot \frac{l - l_0}{t - t_0} = \frac{1}{l_0} \cdot \frac{\Delta l}{\Delta t}$ • Valor de la nueva longitud l: $l = l_0 + l_0 \lambda \Delta t$ $l = l_0 (1 + \lambda \Delta t)$ l_0 = longitud inicial Δt = incremento de temperatura λ = coeficiente de dilatación lineal	Corresponde a la variación de superficie del sólido. El incremento que experimenta la unidad de superficie al aumentar 1 °C la temperatura se denomina **coeficiente de dilatación superficial** del sólido, β. $\beta = \frac{1}{S_0} \cdot \frac{S - S_0}{t - t_0} = \frac{1}{S_0} \cdot \frac{\Delta S}{\Delta t}$ • Valor de la nueva longitud S: $S = S_0 + S_0 \beta \Delta t$ $S = S_0 (1 + \beta \Delta t)$ S_0 = longitud inicial Δt = incremento de temperatura β= coeficiente de dilatación superficial (aproximadamente igual a 2 λ)	Corresponde a la variación de volumen del sólido. El incremento que experimenta la unidad de volumen al aumentar 1 °C la temperatura se denomina **coeficiente de dilatación cúbica** del sólido, γ. $\gamma = \frac{1}{V_0} \cdot \frac{V - V_0}{t - t_0} = \frac{1}{V_0} \cdot \frac{\Delta V}{\Delta t}$ • Valor de la nueva longitud V: $V = V_0 + V_0 \gamma \Delta t$ $V = V_0 (1 + \gamma \Delta t)$ V_0 = longitud inicial Δt = incremento de temperatura γ = coeficiente de dilatación cúbica (aproximadamente igual a 3λ)

Prohibida su reproducción

Ejemplo 7

Una barra de cobre a 15 °C tiene una longitud de 80 cm. **Calcula** qué longitud tendrá si se calienta hasta 90 °C.

- Datos: Longitud inicial, $l_0 = 80\ cm$

  Incremento de la temperatura,

  $$\Delta t = 90\ °C - 15\ °C = 75°C$$

  Coeficiente de dilatación lineal del cobre,

  $$l = 1{,}7 \cdot 10^{-5}\ °C^{-1}$$

- Calculamos la longitud final: $l = l_0\ (1 + \lambda\ \Delta t)$

$$I = 80\ cm\ (1 + 1{,}7 \cdot 10^{-5}\ °C^{-1} \cdot 75\ °C)$$

$$I = 80cm\ (1 + 1{,}28 \cdot 10^{-3}) = 80\ cm \cdot 1{,}001 = 80{,}1\ cm$$

Ejemplo 8

Una pieza de aluminio a 20 °C tiene un volumen de 5 cm^3. **Calcula** su volumen a 280 °C.

- Datos: Volumen inicial, $V_0 = 5\ cm^3$

  Incremento de temperatura,

  $$\Delta t = 280\ °C - 20\ °C = 260°C$$

  Coeficiente de dilatación cúbica del aluminio,

  $$\gamma = 3\lambda = 3 \cdot 2{,}5 \cdot 10^{-5}\ °C^{-1} = 7{,}5 \cdot 10^{-5}\ °C^{-1}$$

- Hallamos el volumen a 280 °C: $V = V_0\ (1 + \gamma\ \Delta t)$

$$V = 5cm^3\ (1 + 7{,}5 \cdot 10^{-5}\ °C^{-1} \cdot 260\ °C)$$

$$V = 5\ cm^3\ (1 + 0{,}02) = 5\ cm^3 \cdot 1{,}02 = 5{,}1\ cm^3$$

Dilatación de los líquidos

La dilatación de los líquidos es similar a la dilatación cúbica de los sólidos. Por lo tanto, depende del incremento de temperatura y de la naturaleza del líquido.

Cada líquido presenta un coeficiente de dilatación cúbica característico. Este es, por lo general, bastante mayor que el de los sólidos (tabla 5).

El volumen del líquido después de aumentar su temperatura Δt se calcula mediante la expresión:

$$V = V_0\ (1 + k\ \Delta t)$$

V_0 = volumen inicial
V = volumen final
K = coeficiente de dilatación cúbica del líquido

Y TAMBIÉN: ¿?

Coeficiente de dilatación cúbica de algunos líquidos a 20°C

Sustancia	Coeficiente de dilatación ($°C^{-1}$)
Bromo	$1{,}1 \times 10^{-4}$
Mercurio	$1{,}8 \times 10^{-4}$
Agua	$2{,}1 \times 10^{-4}$
Glicerina	$4{,}9 \times 10^{-4}$
Etanol	$1{,}0 \times 10^{-3}$
Benceno	$1{,}2 \times 10^{-3}$

Tabla 5.

Ejemplo 9

Calcula el volumen de cierta cantidad de mercurio a 350 °C sabiendo que a 20 °C ocupa un volumen de 1 L.

— Datos: $V_0 = 1L$

$\Delta t = 350\ °C - 20\ °C = 330\ °C$

$K = 1{,}8 \cdot 10\text{-}4\ oC\text{-}1$

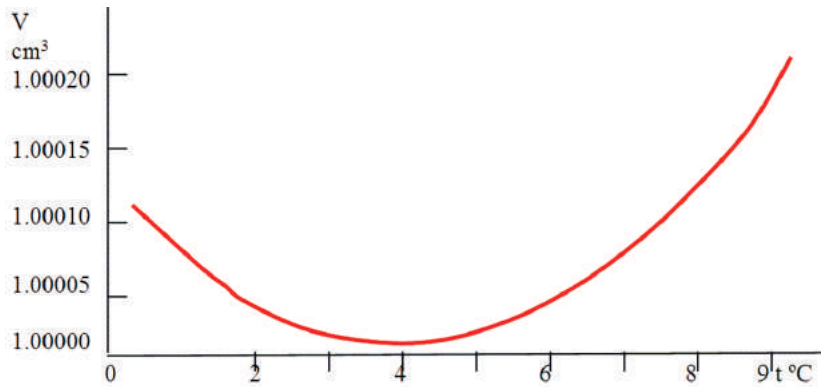
— Hallamos el volumen a 350 °C:

$$V = V_0\ (1 + k\ \Delta t)$$

$$V = 1L(1 + 1{,}8 \cdot 10^{-4}\ °C^{-1} \cdot 330°C$$

$$V = 1L\ (1 + 0{,}06) = 1\ L \cdot 1{,}06 = 1{,}06\ L$$

Y TAMBIÉN: ¿?



Efecto de la variación de temperatura en el volumen de 1 g de agua

La dilatación del agua

El agua tiene un coeficiente de dilatación negativo entre 0 °C y 4 °C, ya que disminuye su volumen al aumentar la temperatura. A partir de 4 °C, temperatura a la que el agua tiene su volumen mínimo, el coeficiente es positivo y el agua se dilata al aumentar la temperatura.

Prohibida su reproducción

Dilatación de los gases

El estudio de la dilatación de los gases se lleva a cabo a presión constante, ya que esta ejerce una influencia muy notable sobre su volumen.

Experimentalmente se comprueba que la dilatación térmica de los gases no depende de su naturaleza. Es decir, todos los gases experimentan el mismo incremento de volumen con un mismo incremento de temperatura.

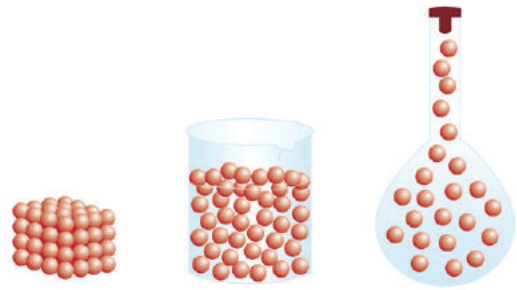
El coeficiente de dilatación de los gases, a, es el mismo para todos ellos y su valor es:

$$\alpha = \frac{1}{273}\ ^{o}C^{-1}$$

El valor del volumen final de un gas que ha experimentado un incremento de temperatura Dt se calcula a partir de la expresión:

$$V = V_0\,(1 + \alpha\Delta t)$$

V_0 = volumen inicial
V = volumen final



http://goo.gl/xgZOk0

Ejemplo 10

Cierto gas que inicialmente ocupa un volumen de $10\ L$ se expande a presión constante cuando aumentamos su temperatura desde $20\ °C$ hasta $80\ °C$. **Calcula** el volumen final del gas.

— Datos: $v_0 = 10\ L$
$\Delta t = 80\ ^{o}C - 20\ ^{o}C = 60\ ^{o}C$

— Hallamos el volumen final: $V = V_0\,(1 + \alpha\,\Delta t)$

$$V = 10\ L\ \left(1 + \frac{1}{273}\ ^{o}C^{-1} \cdot 60\ ^{o}C\right) = 10\ L\ (1 + 0{,}2) = 12{,}2\ L$$

Actividades

20. ¿Qué es la dilatación térmica?
    — **Cita** los diferentes tipos de dilatación térmica que existen.
21. ¿Existe alguna sustancia que tenga coeficiente de dilatación negativo? ¿En qué condiciones?
22. **Calcula** el coeficiente de dilatación lineal del plomo sabiendo que una barra de plomo de $1\ m$ de longitud se alarga $2{,}9\ mm$ cuando su temperatura aumenta $100\ °C$.
23. Una lámina de cierto material tiene una superficie de $120\ cm^2$ a $0\ °C$ y una superficie de $134{,}4\ cm^2$ a $30\ °C$. **Calcula** los coeficientes de dilatación superficial y de dilatación lineal de dicho material.
24. Una barra de aluminio ($\lambda = 2{,}5 \times 10^{-5}\ °C^{-1}$) tiene una longitud de $25\ m$ a $40\ °C$. ¿Qué longitud tendrá si su temperatura desciende a $-25\ °C$?
25. **Calcula** el incremento de temperatura necesario para aumentar en $1\ mm$ la longitud de una barra de cobre ($\lambda = 1{,}7 \cdot 10^{-5}\ °C^{-1}$) de $1\ m$.
26. **Calcula** el coeficiente de dilatación cúbica de un líquido si sabemos que $1\ dm^3$ de este líquido se expande hasta $1{,}042\ dm^3$ cuando su temperatura se eleva $160\ °C$.
27. Se tienen $200\ cm^3$ de mercurio a $30\ °C$. ¿Qué volumen ocuparán a $100\ °C$? (Coeficiente de dilatación del mercurio $= 1{,}8 \cdot 10^{-4}\ °C^{-1}$)
28. Cierto gas ocupa un volumen de $2\ m^3$ a $15\ °C$. ¿Cuál es su volumen a $40\ °C$ y a la misma presión?
29. **Calcula** el aumento de volumen de $5\ L$ de gas cuando su temperatura aumenta $200\ °C$ a presión constante.

Prohibida su reproducción

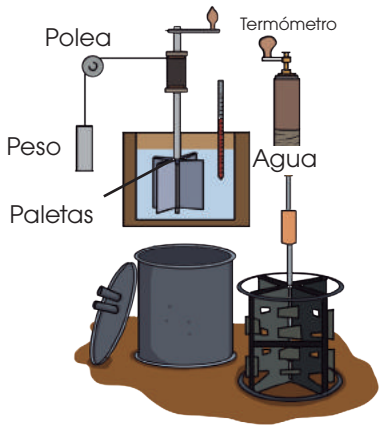
3. INTERCAMBIOS DE TRABAJO Y CALOR

Los cuerpos intercambian energía con el exterior en forma de trabajo o calor. Pero ¿qué relación hay entre ambos? De esta relación se ocupa una parte de la física llamada **termodinámica**. Vamos a ver cómo se producen las transformaciones de trabajo en calor y al revés.

3.1. Transformaciones de trabajo en calor: equivalente mecánico del calor

El principio de conservación de la energía afirma que la energía total se conserva en cualquier transformación. Así, cuando una bicicleta se detiene al accionar el freno, la disminución de energía mecánica coincide con el calor producido por el rozamiento.

El físico inglés J. P. Joule (1818-1889), en una famosa experiencia que lleva su nombre, realizada hacia 1843, comprobó que el trabajo mecánico produce los mismos efectos que el calor y determinó con exactitud la equivalencia entre los valores de ambas magnitudes.



3.2. Experiencia de Joule

Joule utilizó un calorímetro con una cierta masa de agua al cual incorporó unas paletas giratorias. Hizo caer un peso atado a un hilo que arrolló alrededor del eje de las paletas. El peso, al caer, hacía mover las paletas y estas agitaban el agua.

De este modo, el trabajo realizado por el cuerpo (igual a la energía potencial que pierde al caer) se empleaba en aumentar la temperatura del agua.

Tras muchas experiencias, Joule demostró que la cantidad de energía mecánica que se requiere para elevar la temperatura de 1 g de agua en 1 °C siempre es igual a 4,18 J. Es decir, una energía mecánica de 4,18 J equivale a una caloría.

$$4{,}18\ \text{J} = 1\ \text{cal}$$

Y TAMBIÉN: ¿?

El hecho de que una misma cantidad de energía mecánica siempre equivale a la misma cantidad de calor constituye una prueba definitiva de que el calor es una forma de transmisión de la energía.

Esta relación se conoce como equivalente mecánico del calor y nos permite estudiar cuantitativamente los procesos de transformación de trabajo en calor.

Ejemplo 11

En una experiencia similar a la de Joule, una masa de 20 kg desciende 3 m y queda en reposo. **Calcula**:

a. El aporte energético que recibe el agua, en calorías.

b. La temperatura final del agua del calorímetro si este contiene 700 g de agua a una temperatura inicial de 20 °C.

— Datos: $m = 20\ \text{kg}$; $h = 3\ \text{m}$; $m_a = 0{,}7\ \text{kg}$; $c_a = 4\ 180\ \text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$; $t_0 = 20\ ^\circ\text{C} = 293\ \text{K}$

a. El trabajo es el producto del peso por la distancia recorrida.

$$W = m \cdot g \cdot h = 20\ \text{kg} \cdot 9{,}8\ \text{m/s}^2 \cdot 3\ \text{m} = 588\ \text{J}$$

Para expresarlo en calorías aplicamos el equivalente mecánico del calor.

$$588\ \text{J} \cdot \frac{1\ \text{cal}}{4{,}18\ \text{J}} = 140{,}7\ \text{cal}$$

b. Hallamos la temperatura final del agua a partir de la fórmula del calor absorbido.

$$Q = m_a \cdot c_a \cdot \Delta t = m_a \cdot c_a \cdot (t - t_0) \ ; \ t = t_0 + \frac{Q}{m_a \cdot c_a}$$

$$t = 293\ \text{K} + \frac{588\ \text{J}}{4\ 180\ \text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} \cdot 0{,}7\ \text{kg}}$$

$$t = 293\ \text{K} + 0{,}2\ \text{K} = 293{,}2\ \text{K} = 20{,}2\ ^\circ\text{C}$$

Prohibida su reproducción

3.3 Primer principio de la termodinámica

Tanto el trabajo como el calor son dos formas de transferencia de energía entre un cuerpo y su medio exterior. Así, no es correcto decir que un cuerpo tiene calor, pues el calor no es una propiedad de los cuerpos. Cuando queremos referirnos a la energía que un cuerpo posee en su interior utilizamos el término energía interna.

Una **máquina mecánica** es un dispositivo que recibe el trabajo procedente de una fuerza externa y lo transmite a algún cuerpo.

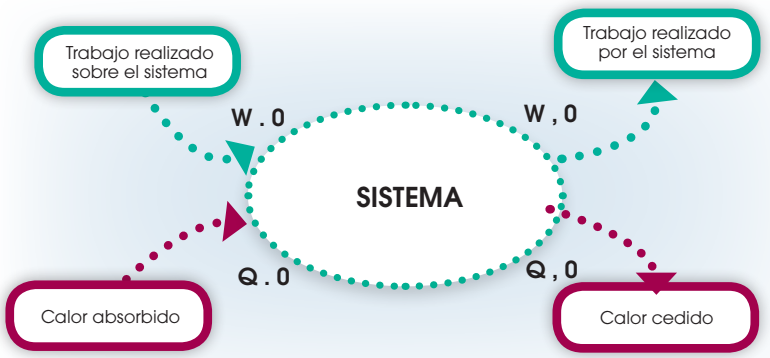
Cuando un cuerpo intercambia calor o trabajo con el medio exterior, lo hace variando su energía interna en una cantidad ΔU.

Este principio no es más que el principio general de conservación de la energía aplicado a los intercambios de calor y trabajo en un sistema físico. Se puede enunciar de este modo:

La **variación de energía interna** de un sistema es igual a la **suma** del **calor**, Q, y el **trabajo**, W, intercambiados con el exterior.

$$\Delta U = Q + W \qquad \text{donde} \qquad \Delta U = U - U_0$$

Por convenio, el calor absorbido por el sistema se considera positivo y el calor cedido por el sistema, negativo. En cuanto al trabajo, lo consideramos positivo si se realiza sobre el sistema y negativo si lo realiza el sistema sobre el exterior.



Y TAMBIÉN: ¿?

La energía interna incluye:

— La suma de las distintas energías potenciales, resultantes de las fuerzas atractivas y repulsivas entre las partículas.

— La suma de las distintas energías cinéticas, resultantes de los movimientos de traslación, rotación y vibración de las partículas.

TEN EN CUENTA QUE:

Principio de conservación de la energía:

La cantidad total de energía del universo se mantiene constante en cualquier proceso.

Y TAMBIÉN: ¿?

Imagina un gas contenido en un recipiente cerrado por un émbolo móvil.

— Es **positivo** el trabajo que realizamos sobre el gas en una **compresión** y **negativo** el que realiza el gas en una **expansión**.

— Es **positivo** el calor absorbido por el gas cuando **se calienta** y **negativo** el que cede cuando **se enfría**.

Actividades

30. **Explica** qué entendemos por equivalente mecánico del calor y expresa esta equivalencia de manera cuantitativa.

31. En una experiencia similar a la de Joule, una masa de $30\ \text{kg}$ desciende $7{,}5\ \text{m}$ y queda en reposo. **Calcula** el aporte energético que recibe el agua, en calorías, y su temperatura final si se dispone de $0{,}5\ \text{kg}$ de agua a $18\ ^\circ\text{C}$.

32. Si sobre el gas contenido en un recipiente se realiza un trabajo de compresión de 5 000 J y el gas disipa 1 000 cal al exterior, su energía interna ¿aumenta o disminuye? ¿En qué cantidad?

33. **Busca** información sobre la evolución histórica del concepto de calor y **explica** las diferencias respecto a lo que se entiende hoy día por calor.

Prohibida su reproducción

3.4. Transformaciones de calor en trabajo: máquinas térmicas

Desde siempre, el ser humano ha utilizado el calor como medio de calefacción. Pero, a partir del siglo XVIII, comenzó a emplearlo también como fuente de energía para producir trabajo mecánico. La transformación de calor en trabajo fue tan importante que desencadenó la Revolución industrial.

Los dispositivos encargados de llevar a cabo esta transformación son las máquinas térmicas.

Una **máquina térmica** es un dispositivo que, actuando de manera cíclica, transforma el calor suministrado por un foco calorífico en trabajo mecánico.

En las antiguas locomotoras de vapor, el que se generaba en la combustión ponía en movimiento los pistones, que, a su vez, impulsaban las ruedas mediante un juego de bielas.

Tipos de máquinas térmicas

Las máquinas térmicas pueden ser de dos tipos.

— De combustión externa. La combustión tiene lugar fuera de la máquina. Son de este tipo la máquina de vapor y la turbina de vapor.

— De combustión interna. La combustión tiene lugar dentro de la propia máquina. Son de este tipo los motores de explosión de cuatro tiempos o de dos tiempos y el motor diésel.

Rendimiento de las máquinas térmicas

La experiencia demuestra que, aunque es posible transformar íntegramente el trabajo en calor, una determinada cantidad de calor no se puede convertir en su totalidad en trabajo mecánico.

Una máquina térmica trabaja de manera cíclica de acuerdo con el esquema siguiente:

— Absorbe una cantidad de calor, Q_1, de un foco caliente.

— Transforma parte de este calor en trabajo mecánico, W.

— Cede otra parte de calor, Q_2, a un foco frío.

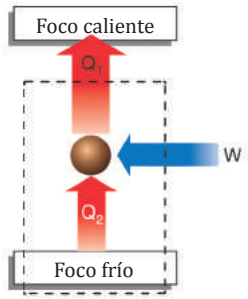
El rendimiento de una máquina térmica es el cociente entre el trabajo que produce y el calor que absorbe.

$$r = \frac{W}{Q_t} \qquad 0 < r < 1$$

El rendimiento nunca puede llegar al 100 %, ya que ninguna máquina térmica puede transformar el calor que absorbe íntegramente en trabajo. Es por esta razón, para disipar el calor sobrante y evitar su deterioro, que los motores de los autos necesitan un sistema de refrigeración.

Los frigoríficos

Los frigoríficos son máquinas térmicas que funcionan de modo inverso al habitual. Un frigorífico consume trabajo del exterior (energía de la red eléctrica) a la vez que absorbe calor de un foco frío (el interior del frigorífico) y cede calor a un foco caliente (el exterior del frigorífico).



Actividades

34. Una máquina térmica absorbe 18 000 J de un foco caliente en cada ciclo. Si su rendimiento es del 95 %, **calcula** el trabajo que realiza y el calor que cede al foco frío en un ciclo.

Sol.: 17 100 J; 900 J

35. **Busca** información sobre la máquina de vapor de Watt y su relación con la Revolución industrial.

— **Elabora** un informe sobre la aplicación de la máquina de vapor en la industria y la locomoción.

Prohibida su reproducción

Problemas resueltos

A

Un bloque de hielo de 1 kg de masa que está inicialmente a 210 °C se pone en contacto con un foco calorífico. Después de cierto tiempo, se observa que se ha transformado totalmente en agua líquida a 20 °C.

— **Calcula** el calor total absorbido en el proceso.

Solución

Datos: $m = 1\text{kg}$ $\quad L_F = 333\,500\ \text{J} \cdot \text{kg}^{-1}$

$c_{hielo} = 2\,090\ \text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ $\quad c_{agua} = 4\,180\ \text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$

$t_0 = -10^{o}\text{C}$ $\quad t_1 = 0^{o}\text{C}$ $\quad t_2 = 20^{o}\text{C}$

El proceso se realiza en tres etapas:

a. El hielo aumenta su temperatura de 210 °C a 0 °C.

$$\Delta t = t_1 - t_0 = 0\ °\text{C} - (-10\ °\text{C}) = 10\ °\text{C} = 10\ \text{K}$$

El calor que absorbe es: $Q_1 = m \cdot c_{hielo} \cdot (t_1 - t_0)$

$$Q_1 = 1\ \text{kg} \cdot 2\,090\ \text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} \cdot 10\ \text{K} = 20\,900\ \text{J}$$

b. El hielo funde a la temperatura de 0 °C. El calor que absorbe es:

$$Q_2 = m \cdot L_F$$

$$Q_2 = 1\ \text{kg} \cdot 333\,500\ \text{J} \cdot \text{kg}^{-1} = 333\,500\ \text{J}$$

c. El agua que resulta de fundir el hielo aumenta su temperatura de 0 °C a 20 °C.

$$\Delta t = t_2 - t_1 = 20\ °\text{C} - 0\ °\text{C} = 20\ °\text{C} = 20\ \text{K}$$

El calor que absorbe es:

$$Q_3 = m \cdot c_{agua} \cdot (t_2 - t_1)$$

$$Q_3 = 1\ \text{kg} \cdot 4\,180\ \text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} \cdot 20\ \text{K} = 83\,600\ \text{J}$$

El calor total absorbido en el proceso es:

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3$$

$$Q = 20\,900\ \text{J} + 333\,500\ \text{J} + 83\,600\ \text{J} = 438\,000\ \text{J}$$

1. A una masa de 5 kg de hielo que está a 0 °C se le comunica calor hasta que se transforma totalmente en agua líquida a 12 °C. **Calcula** el calor total absorbido en el proceso.

   (Datos: $c_{agua} = 4\,180\ \text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$;

   $c_{hielo} = 2\,090\ \text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$; $L_F = 333{,}5\ \text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$)

2. Una masa de 1 kg de vapor de agua que está a 112 °C se enfría hasta transformarse totalmente en hielo a 215 °C. **Calcula** el calor total cedido en el proceso.

   (Datos: $c_{\text{vapor de agua}} = 2\,010\ \text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$;

   $c_{agua} = 4\,180\ \text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$; $c_{hielo} = 2\,090\ \text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$;

   $L_F = 333{,}5\ \text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$; $L_V = 2\,257\ \text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$)

B

Un cable de cobre de 3 000 m de longitud y 5 kg de masa expuesto al sol incrementa su temperatura de 15 °C a 45 °C.

Determina:

a. La cantidad de calor absorbido por el metal.

b. La longitud final del cable.

Datos: $l_0 = 3\,000\ \text{m}$; $m = 5\ \text{kg}$; $t_0 = 15\ °\text{C}$; $t = 45\ °\text{C}$

$c = 385\ \text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$; $\lambda = 1{,}7 \cdot 10^{-5}\ °\text{C}^{-1}$

a. Hallamos el incremento de temperatura.

$$\Delta t = t - t_0 = (45 - 15)\ °\text{C} = 30\ °\text{C}$$

El incremento de temperatura tiene el mismo valor en grados centígrados y en kelvins: $\Delta t = 30\ \text{K}$.

Determinamos el calor absorbido por el metal.

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta t$$

$$Q = 5\ \text{kg} \cdot 385\ \text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} \cdot 30\ \text{K} = 57\,750\ \text{J}$$

El calor absorbido por el metal es de 57 750 J.

b. Para hallar la longitud final del cable aplicamos la ecuación de la dilatación.

$$l = l_0\,(1 + \lambda \cdot \Delta t)$$

$$l = 3\,000\ \text{m}\ (1 + 1{,}7 \cdot 10^{-5}\ °\text{C}^{-1} \cdot 30\ °\text{C})$$

$$l = 3\,000\ \text{m}\ (1 + 5{,}1\ ?\ 1024)$$

$$l = 3\,000\ \text{m} \cdot 1{,}0005 = 3\,001{,}5\ \text{m}$$

La longitud final del cable es de 3 001,5 m.

3. Un cable de cobre de 1 000 m de longitud y 1,5 kg de masa aumenta su temperatura de 20 °C a 50 °C. **Calcula**:

   a. El calor absorbido por el metal.

   b. La longitud final.

4. Una barra de hierro de 5 m de longitud y 3 kg de masa eleva su temperatura de 210 °C a 72 °C. **Calcula**:

   a. El calor absorbido por la barra.

   b. Su longitud final.

Prohibida su reproducción

C

Introducimos 200 g de cobre a 150 °C en un calorímetro que contiene medio litro de agua a 20 °C. **Calcula** la temperatura de equilibrio térmico del sistema. (Calor específico del cobre, $c_a = 385\ J \cdot kg^{-1} \cdot °C^{-1}$)

— **Justifica** que el resultado es coherente con los datos iniciales.

Solución

Datos:

Cobre	Agua
$c_a = 385\ J \cdot kg^{-1} \cdot °C^{-1}$	$c_b = 4\ 180\ J \cdot kg^{-1} \cdot °C^{-1}$
$t_a = 150\ °C$	$t_b = 20\ °C$
$m_a = 200 g = 0{,}200\ kg$	$m_b = 0{,}500\ L = 0{,}500\ kg$

Temperatura de equilibrio, t: desconocida

— Se pide la temperatura de equilibrio térmico del sistema. Esta temperatura indica el final de flujo neto de calor entre las dos sustancias.

— En el equilibrio térmico, el calor cedido y el calor absorbido deben ser iguales.

- Calor cedido por el cobre: $Q_a = c_a\ m_a\ (t_a - t)$
- Calor absorbido por el agua: $Q_b = c_b\ m_b\ (t - t_b)$
- En el equilibrio: $Q_a = Q_b$

— De esta expresión despejamos t:

$$c_a m_a (t_a - t) = c_b m_b (t - t_b)$$
$$c_a m_a t_a - c_a m_a t = c_b m_b t - c_b m_b t_b$$
$$c_a m_a t_a + c_b m_b t_b = c_a m_a t + c_b m_b t$$
$$c_a m_a t_a + c_b m_b t_b = (c_a m_a + c_b m_b) t$$
$$t = \frac{c_a m_a t_a + c_b m_b t_b}{c_a m_a + c_b m_b}$$

— Sustituimos los datos en la expresión anterior:

$$t = \frac{385\ J \cdot kg^{-1} \cdot °C^{-1} \cdot 0{,}200\ kg \cdot 150\ °C + 4180\ J \cdot kg^{-1} \cdot °C^{-1} \cdot 0{,}500\ kg \cdot 20\ °C}{385\ J \cdot kg^{-1} \cdot °C^{-1} \cdot 0{,}200\ kg + 4180\ J \cdot kg^{-1} \cdot °C^{-1} \cdot 0{,}500\ kg}$$

$$t = 24{,}6\ °C$$

Respuesta

— La temperatura de equilibrio es de 24,6 °C.

— El resultado es coherente porque la temperatura de equilibrio es intermedia entre la que tenía el metal, 150 °C, y la del agua, 20 °C.

Además, esta temperatura es más cercana a la del agua, ya que ésta tiene mayor calor específico que el cobre y hemos colocado más agua en el calorímetro.

5. Razona si es posible la siguiente experiencia:

   Después de introducir en un calorímetro agua a 18 °C y un cuerpo a 90 °C, la temperatura de equilibrio resultó ser 100 °C.

6. **Determina** la temperatura de equilibrio que se alcanza al mezclar 3 kg de agua a 15 °C con 5 kg de agua a 70 °C.

7. En un calorímetro que contiene 250 g de agua a 60 °C se introducen 500 g de etanol a 15 °C. **Halla** la temperatura del conjunto cuando se alcanza el equilibrio térmico. (Calor específico del etanol, $c = 2\ 424\ J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$)

8. Dos masas iguales de agua y de otra sustancia cuyo calor específico es $1965\ J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$ se hallan a 30 °C y 60 °C.

   — **Determina** la temperatura final de equilibrio cuando las dos sustancias se mezclan en un calorímetro.

9. Un calorímetro contiene 1 kg de agua a 10 °C. Al introducir 0,5 kg de cierta sustancia a 25 °C dentro del calorímetro, la temperatura de equilibrio resulta ser de 11 °C. **Calcula** el calor específico de dicha sustancia.

10. Para enfriar una pieza de 200 g de cierto metal desde 800 °C a 80 °C se coloca en un calorímetro que contiene agua a 15 °C. **Calcula** la cantidad de agua que se ha empleado. (Calor específico del metal, $c = 460\ J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$)

11. En un calorímetro que contiene agua a 18 °C se han introducido 100 g de cierto material de calor específico $657{,}2\ J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$ que están a una temperatura de 100 °C. Si la temperatura de equilibrio es de 20,5 °C, **calcula**:

    a. La cantidad de agua que contenía el calorímetro.

    b. El calor cedido por el cuerpo.

Prohibida su reproducción

C

Mezclamos 25 g de hielo a -5 °C con 6 g de vapor de agua a 115 °C. **Calcula** cuál será la temperatura de equilibrio, que supondremos corresponderá a agua en estado líquido.

Solución

Datos:

Cobre	Agua
$c_a = 2\,010\ J \cdot kg^{-1} \cdot {}^oC^{-1}$	$c_b = 4\,180\ J \cdot kg^{-1} \cdot {}^oC^{-1}$
$L_v = 2\,257\,000\ J \cdot kg^{-1}$	$L_F = 333500\ J \cdot kg^{-1}$
$m_a = 6g = 0{,}06\ kg$	$m_b = 25\ g = 0{,}025\ kg$
$t_a = 115\ {}^oC$	$t_b = -5\ {}^oC$

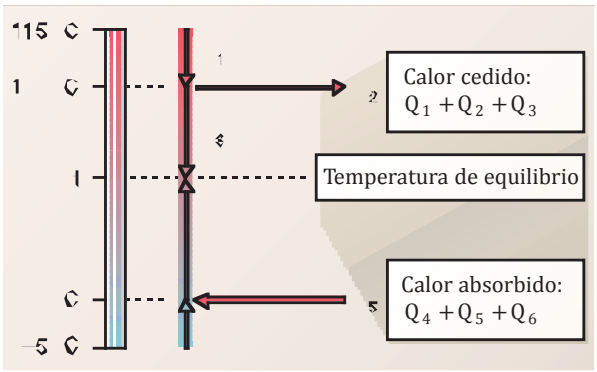
c (agua líquida) $= 4\,180\ J \cdot kg^{-1} \cdot {}^oC^{-1}$

Temperatura de equilibrio, t: desconocida

— Cuando mezclamos hielo y vapor de agua, el hielo absorbe el calor que cede el vapor hasta llegar a la temperatura t de equilibrio térmico.

— El cálculo de estas cantidades de calor exige varios pasos, ya que además de un cambio de temperatura se produce un cambio de estado.

— Representamos los diferentes calores cedidos y absorbidos en el proceso.



— Calcularemos los calores absorbidos y cedidos en el proceso.

— En el equilibrio térmico, el calor cedido debe ser igual al calor absorbido.

— Calor cedido por el vapor de agua para enfriarse de 115 °C a 100 °C:

$Q_1 = c_a\ m_a\ (t_0 - t)$

$Q_1 = 2\,010\ J \cdot kg^{-1} \cdot {}^oC^{-1} \cdot 0{,}006\ kg \cdot (115 - 100)^oC$

$Q_1 = 180{,}9\ J$

— Calor cedido por el vapor de agua al licuar a 100 °C:

$Q_2 = m_a\ l_v = 0{,}006\ kg \cdot 2\,257\,000\ J \cdot kg^{-1} = 13\,542\ J$

— Calor cedido por el agua líquida para enfriarse hasta la temperatura de equilibrio, t:

$Q_3 = c\ m_a\ (t_0 - t)$

$Q_3 = 4\,180\ J \cdot kg^{-1} \cdot {}^oC^{-1} \cdot 0{,}006\ kg \cdot (100 - t)\ {}^oC$

$Q_3 = 2\,508\ J - 25{,}1\ J \cdot {}^oC^{-1}\ t$

— Calor absorbido por el hielo para calentarse de -5 °C a 0 °C:

$Q_4 = c_b\ m_b\ (t - t_0)$

$Q_4 = 2\,090\ J \cdot kg^{-1} \cdot {}^oC^{-1} \cdot 0{,}025\ kg \cdot [0 - (-5)]\ {}^oC$

$Q_4 = 261{,}2\ J$

— Calor absorbido por el hielo para fundir a 0 °C:

$Q_5 = m_b\ L_F = 0{,}025\ kg \cdot 333\,500\ J \cdot kg^{-1} = 8\,337{,}5\ J$

— Calor absorbido por el agua líquida para calentarse hasta la temperatura de equilibrio, t:

$Q_6 = c\ m_b\ (t - t_0) = 4\,180 J \cdot kg^{-1} \cdot {}^oC^{-1}\ t$

$Q_6 = 104{,}5\ J \cdot {}^oC^{-1}\ t$

— Prescindimos de las unidades para mayor sencillez y planteamos la ecuación:

$$Q_1 + Q_2 + Q_3 = Q_4 + Q_5 + Q_6$$

— Obtenemos:

$$180{,}9 + 13\,542 + (2\,508 - 25{,}1t) =$$
$$= 261{,}2 + 8\,337{,}5 + 104{,}5\ t$$
$$7\,632{,}2 = 129{,}6\ t$$
$$t = 58{,}9\ {}^oC$$

Respuesta

La temperatura de equilibrio será 58,9 °C.

12. Se mezclan 100 g de agua a 80 °C con 3 g de hielo a −20 °C. **Calcula** la temperatura final de la mezcla suponiendo que el estado final es agua líquida.

13. **Halla** la temperatura a la que se alcanza el equilibrio térmico cuando se mezclan 50 g de hielo a -10 °C con 300 g de agua a 80 °C. Supón que el estado final es agua líquida.

14. Se mezclan 5 g de vapor de agua a 120 °C con 80 g de agua a 40 °C. **Calcula** la temperatura en el equilibrio térmico suponiendo que el estado final es agua líquida.

15. **Determina** la temperatura de equilibrio que se obtiene cuando se mezclan 100 g de vapor de agua a 110 °C con 500 g de hielo a -10 °C. Supón que el estado final es agua líquida.

Prohibida su reproducción

Ejercicios y problemas

1 Temperatura y calor

1. El cero absoluto es la temperatura teórica más baja, es imposible que la materia la pueda alcanzar. ¿Cuál puede ser su significado según el modelo cinético-molecular?

2. Un amigo te escribe desde Inglaterra y te dice que el tiempo es muy frío, pues la temperatura oscila alrededor de 37,4 °F. ¿Cuántos grados Celsius son? ¿Y Kelvins?

3. La temperatura del cuerpo humano se considera normal cuando se sitúa entre 36 °C y 37,5 °C.
   - **Expresa** estos valores en grados Fahrenheit y en Kelvins.
   - **Halla** la amplitud del intervalo de temperaturas normales en ambas escalas.

4. **Pon** un ejemplo de dos cuerpos que intercambien calor. **Identifica**:
   a. Qué cuerpo cede calor y cuál lo absorbe;
   b. Qué cuerpo sufre un aumento de su temperatura y cuál, una disminución.

5. ¿Qué temperatura es más elevada: 14 °C o 290 K?

6. En la página 112, se ofrece una interpretación microscópica de la temperatura en relación con la agitación térmica. ¿Serías capaz de dar una interpretación microscópica del calor a partir de esta?

2 Efectos del calor

7. Se dice que el agua de los mares y océanos tiene un efecto regulador de la temperatura de la Tierra. ¿Qué significa esto? ¿Por qué es así?

8. Deseamos calentar 250 g de agua desde 20 °C hasta 50 °C. ¿Cuánto calor se requiere? Si después se enfría a 10 °C, ¿cuánto calor cede?

9. Un calorímetro contiene 100 g de agua a 6 °C. Dentro de él se coloca una pieza metálica de 700 g a 95 °C. Establecido el equilibrio, la temperatura final es de 22 °C. ¿Cuál es el calor específico del metal?

10. Muchas veces habrás observado que cuando nos duchamos se empañan los espejos del cuarto de baño. **Explica** por qué se produce este efecto y **enumera** los cambios de estado que tienen lugar en él.

11. **Determina** el calor absorbido o cedido en los siguientes procesos:
    a. Una masa de 3,5 kg de hielo se transforma totalmente en agua líquida a una temperatura y una presión constantes de 0 °C y 1 atm.
    b. Una masa de 1,5 kg de vapor de agua se transforma totalmente en agua líquida a una temperatura y una presión constantes de 100 °C y 1 atm.
    — **Indica** en cada caso si se trata de un calor cedido o absorbido.
    Datos: $L_F = 333{,}5\ kJ \cdot kg^{-1}$; $L_V = 2\ 257\ kJ \cdot kg^{-1}$

12. Los raíles de acero de una línea ferroviaria en construcción miden 10 m de longitud a una temperatura de 20 °C. Si las temperaturas extremas esperadas en la zona son 210 °C y 40 °C, **calcula** la separación mínima que se debe dejar entre raíles consecutivos y el valor máximo que podría llegar a tener esta separación. (Coeficiente de dilatación lineal del acero: $1{,}10 \cdot 10^{-5}\ °C^{-1}$).

13. Si mezclamos 1 kg de una sustancia a 60,0 °C con 3 kg de esa misma sustancia a 45,0 °C en un recipiente aislado térmicamente del exterior, ¿cuál será la temperatura de equilibrio de la mezcla?

14. ¿Qué magnitud física permite determinar si dos cuerpos en contacto se encuentran en equilibrio térmico?

15. **Halla** el calor latente de vaporización del etanol si 50 g de etanol absorben 10 kcal al evaporarse. **Expresa** el resultado en cal/g y en J/kg.
    - ¿Es mayor o menor que el del agua?
    - ¿Por qué al frotarnos la piel con alcohol o colonia notamos una sensación de frescor?

16. Una pieza de un puente, fabricada con un metal cuyo coeficiente de dilatación lineal es de $1{,}5 \cdot 10^{-5}\ °C^{-1}$, tiene una longitud de 30 m a 20 °C. **Determina** la longitud de dicha pieza a 40 °C.

17. Una pieza de hierro de 199 g está sumergida en agua. El conjunto ocupa un volumen de 1 L y se encuentra a 20 °C. **Halla** la temperatura final del sistema si se aportan 9 160 J con una fuente de calor.
    (Densidad del hierro: $d = 7{,}96\ g/cm^3$; calor específico: $c = 443\ J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$).

18. **Explica** si estás de acuerdo con la siguiente afirmación: «Al cocer las verduras en agua hirviendo, podemos bajar la intensidad de la llama para ahorrar energía sin perder efectividad en la cocción».

3 Intercambios de trabajo y calor

19. En una experiencia similar a la de Joule, ¿qué valor tiene una masa que al descender $5\ \text{m}$ incrementa en $0{,}5\ ^\circ\text{C}$ la temperatura de $0{,}4\ \text{L}$ de agua?

20. Razona de qué forma variará la energía interna de un cuerpo con la temperatura y con su masa.

21. Un gas contenido en un recipiente se expande realizando un trabajo de $10\,000\ \text{J}$ sobre el medio exterior. A la vez, se calienta incrementando su temperatura en $25\ ^\circ\text{C}$. Si la masa de gas contenida en el recipiente es de $285\ \text{g}$ y su calor específico es de $1\,830\ \text{J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$, **calcula** la variación de la energía interna del gas en el proceso.

22. Una máquina térmica absorbe 4,75 ? 105 J de un foco de calor y tiene un rendimiento del 68 %. ¿Qué trabajo mecánico realiza?

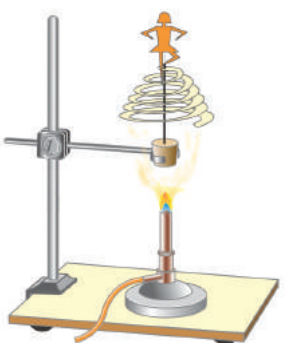
23 ¿Puede ser negativa la variación de la energía interna de un sistema? En caso afirmativo, **indica** en qué casos.

24. **Explica** qué se entiende por rendimiento de una máquina térmica. ¿Qué valores puede tomar? ¿Cuáles son sus unidades de medida?

25. Un cuerpo de $1\ \text{kg}$ baja por un plano inclinado desde una altura de $1\ \text{m}$. Al llegar a la base, su velocidad es de $4{,}0\ \text{m/s}$. ¿Cuántas calorías se han disipado por rozamiento en forma de calor al desplazarse por el plano inclinado?

26. Un frigorífico absorbe en cada ciclo $14\,000\ \text{J}$ de un foco frío para lo que es necesario suministrarle un trabajo igual a $2\,500\ \text{J}$. **Calcula** el calor que cede al foco caliente en cada ciclo. ¿Cómo se podría determinar su eficiencia?

27. **Realiza** esta experiencia en la cual construirás una máquina térmica muy sencilla.



— **Dibuja** una espiral en una hoja de papel. En el centro de la espiral pega una pequeña figurita recortada en cartón.

— **Atraviesa** el centro de la espiral con un alambre de unos $20\ \text{cm}$ de longitud de modo que apenas sobresalga por la parte superior. **Recorta** la espiral por la línea dibujada.

— **Pincha** el extremo inferior del alambre en un tapón de corcho. **Fija** el tapón a un lugar firme utilizando una pinza.

— **Sitúa** una fuente de calor, como un mechero, bajo el corcho y a suficiente distancia del papel para que no arda. **Observa** qué sucede cuando el aire caliente asciende.

— ¿Cuál es el foco caliente de esta máquina térmica? ¿Cuál es el foco frío? ¿Qué clase de trabajo realiza? ¿Cómo se relaciona con el calor intercambiado?

4 Algo más...

28. **Consulta** en una enciclopedia o en Internet los distintos modos de propagación del calor y redacta un resumen en el que se explique en qué consiste cada uno. Para ello utiliza el procesador de textos.

29. **Entra** en la página *http://goo.gl/4hzZjy* para ver la curva de calentamiento de una sustancia pura. Después, entra en la página *http://goo.gl/XFWRgi* y comprobarás cómo el calor específico del agua y del alcohol afectan al ritmo de variación de su temperatura.

30. En la página http://goo.gl/8LUBF1 podrás aprender más sobre la experiencia de Joule y el equivalente mecánico del calor. Al final de la página se ofrece un applet con el que podrás reproducir dicha experiencia.

31. **Busca** en tu casa doce productos alimentarios cuyos envases sean distintos. **Comprueba** que en la etiqueta aparezcan la composición y el aporte energético. **Elabora** una tabla en la que figuren estos datos:

— La energía que proporcionan $100\ \text{g}$ del producto (en kcal y kJ).

— Las cantidades de lípidos, proteínas e hidratos de carbono de cada producto, expresadas en gramos. **Calcula** los respectivos porcentajes.

— A partir de los resultados, ordena los tres tipos de nutrientes según su valor energético. **Haz** una estimación de la energía que proporciona $1\ \text{g}$ de cada tipo de nutriente.

Prohibida su reproducción

DETERMINACIÓN DEL CALOR ESPECÍFICO DE UN METAL

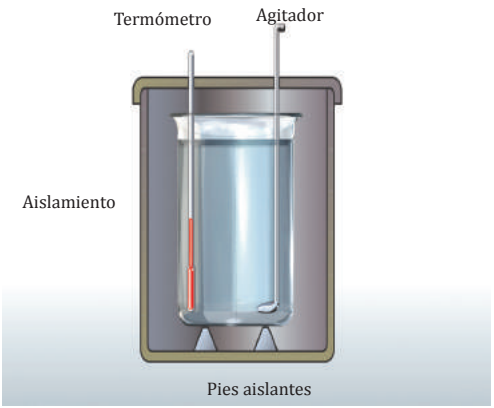
El calor específico de un metal puede determinarse poniendo dicho metal en contacto con otro cuerpo, por ejemplo agua, a distinta temperatura en el interior de un calorímetro.

El calorímetro

Es un recipiente aislado térmicamente del exterior, de modo que todo el calor se intercambia entre las sustancias que se introducen en él.

Se utiliza para determinar el calor específico de las sustancias. El calor absorbido por uno de los cuerpos es igual al calor cedido por el otro, si no tenemos en cuenta la cantidad de calor absorbido o cedido por el calorímetro.

http://goo.gl/6bgr9h



MATERIALES:

- Calorímetro provisto de termómetro y agitador.
- Balanza.
- Mechero de Bunsen.
- Trípode y rejilla.
- Termómetro.
- Probeta de 1 L.
- Vaso de precipitados de 0,5 L.
- Pinzas.
- Agua.
- Pieza de metal homogénea de 100 a 200 g.

PROCESOS:

1. **Mide** 1 L de agua con la probeta.
2. **Vierte** el agua en el calorímetro y ciérralo. Espera unos 2 min y **mide** la temperatura del agua del calorímetro, t_1.
3. **Pesa** en la balanza una pieza de metal de unos 100 g a 200 g.
4. **Coloca** sobre el trípode un vaso de precipitados con agua suficiente para cubrir el metal y caliéntala casi hasta ebullición con el mechero de Bunsen.
5. **Introduce** el metal en el vaso y **apaga** el mechero. Al cabo de unos 3 min, **mide** la temperatura del agua. Esta es también la temperatura del metal, t_2.
6. **Extrae** el metal del vaso con unas pinzas, introdúcelo rápidamente en el calorímetro y ciérralo.
7. **Observa** cómo aumenta la temperatura en el calorímetro. **Agita** el agua de vez en cuando y espera a que se estabilice la temperatura. Esta es la temperatura de equilibrio, t.

Datos

Agua	Metal
Masa m_1 = ...	Masa m_2 =.....
Calor específico c_1 = ...	Calor específico c_2 = ?
Temperatura inicial t_1 = ...	Temperatura inicial t_2 = ...
Temperatura de equilibrio, t = ...	

Tabla 5.

Cálculo del calor específico

- Calor absorbido por el agua: $Q = m_1 \cdot c_1 (t - t_1)$
- Calor cedido por el metal: $Q = m_2 \cdot c_2 (t_2 - t)$
- En el equilibrio se cumple:

$$m_1 \cdot c_1 (t - t_1) = m_2 \cdot c_2 (t_2 - t)$$

$$c_2 = \frac{m_1 \cdot c_1 (t - t_1)}{m_2 (t_2 - t)} = ...$$

CUESTIONES:

a. **Explica** cuál es la función del calorímetro en esta experiencia. ¿Por qué debe permanecer cerrado?

b. ¿Por qué hemos de esperar unos minutos antes de medir la temperatura del metal?

c. En un calorímetro que contiene 470 g de agua a 16 °C se introduce una pieza de 125 g de un metal que se encuentra a 90 °C. Si la temperatura de equilibrio es de 20 °C, **calcula** el calor específico del metal.

SENTIDO CRÍTICO

LA DILATACIÓN ANÓMALA DEL AGUA

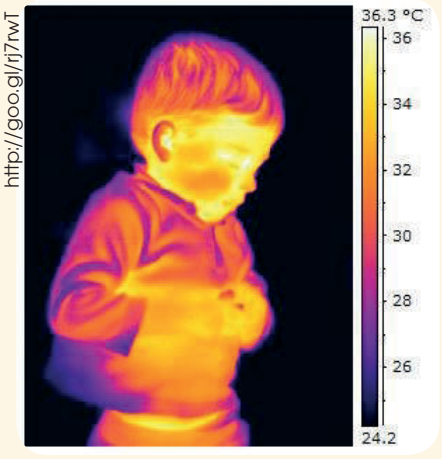
El agua presenta un comportamiento peculiar en el rango de 0 a 4 °C. Dentro de este intervalo, al disminuir la temperatura, el agua se dilata y su densidad disminuye. Al alcanzar los 0 °C (a presión atmosférica), el agua líquida se transforma en hielo y, al ser este menos denso que el agua líquida, puede flotar en ella.

Este comportamiento irregular del agua permite la vida en los lagos de zonas muy frías. Cuando en la superficie de un lago el agua empieza a congelarse, el agua que está ligeramente por encima de los 0 °C, más densa, desciende hacia el fondo, de forma que bajo la capa de hielo superficial la vida puede proseguir a una temperatura cercana a los 4 °C.

NOTICIA

VISORES DE INFRARROJOS

Para la visión nocturna o en condiciones de poca visibilidad se utilizan las cámaras de infrarrojos. Estos dispositivos captan el calor emitido por los cuerpos en forma de radiación infrarroja. Las cámaras de infrarrojos tienen lentes fabricadas con materiales opacos a la luz visible pero transparentes a la luz infrarroja, generalmente materiales semiconductores.



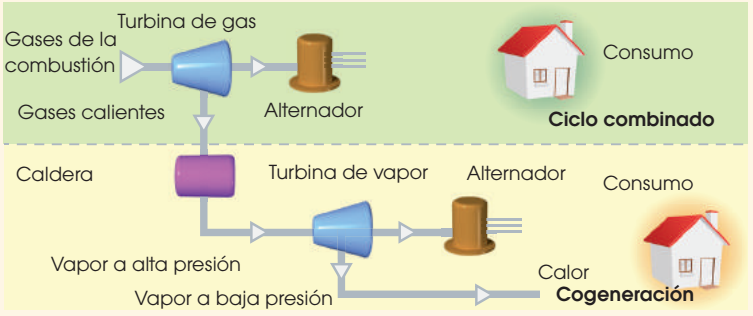
SOCIEDAD

EL CICLO COMBINADO Y LA COGENERACIÓN DE ENERGÍA

En una **central térmica clásica**, el calor producido al quemar el combustible se utiliza para generar vapor a alta presión en una caldera. El vapor hace girar una turbina (de vapor), cuyo eje gira de forma solidaria con el de un generador (alternador) que produce la energía eléctrica. Posteriormente, el vapor es enfriado en un condensador y convertido otra vez en agua, que vuelve a los tubos de la caldera, iniciando un nuevo ciclo.

El funcionamiento de la **turbina de vapor** se basa en que al expandirse el vapor disminuye su temperatura y se reduce su energía interna. Esta reducción de la energía interna se transforma en energía mecánica por la aceleración de las partículas de vapor.

- Si la central es de **ciclo combinado**, los gases calientes producidos en la cámara de combustión se utilizan para accionar una turbina (turbina de gas) y, a la salida, se dirigen hacia una caldera para aumentar el vapor producido con el objeto de alimentar la turbina de vapor. El rendimiento de la conversión del calor en electricidad es aproximadamente de un 60 %.



- En la **cogeneración** de energía, la energía restante del proceso (calor de salida de las turbinas, o vapor a baja presión de la turbina de vapor) se emplea directamente en las cercanías de la central para calentar edificios o como suministro de la propia central o de otras fábricas, lo que aumenta aún más la eficiencia global del sistema, hasta el 80 %.

Prohibida su reproducción

5 Resumen

- La temperatura de un cuerpo es una medida de la agitación térmica (energía cinética) de las partículas que lo forman. Cuanto mayor es la agitación térmica, mayor es la temperatura.
- **Escalas de temperatura**

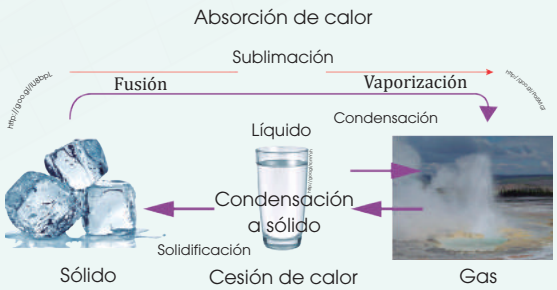
  C: grados Celsius

  F: grados Fahrenheit $\quad \frac{C}{100} = \frac{F - 32}{180} \quad K = c + 273$

  K: Kelvins
- El **calor** es una forma de transmisión de la energía que se produce cuando existe una diferencia de temperatura entre dos cuerpos o entre diferentes partes de un mismo cuerpo.
- **Efectos del calor**: cambios de temperatura, cambios de estado y dilatación.
- Calor absorbido o cedido con **cambio de temperatura**:

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta t$$

- El **calor específico (c)** o capacidad calorífica específica de una sustancia es el calor que debe recibir la unidad de masa para aumentar su temperatura un Kelvin.
- Cuando ponemos en contacto dos o más cuerpos a temperaturas distintas, se produce un intercambio de calor entre ellos hasta que se llega al equilibrio térmico; es decir, hasta que los cuerpos alcanzan la misma temperatura.
- **Cambios de estado**



Calor absorbido o cedido en un cambio de estado:

$$Q = m \cdot L$$

- La **dilatación** consiste en el aumento de volumen de un cuerpo como consecuencia de un incremento de su temperatura, por lo que su densidad disminuye.

  Longitud final de un sólido que se dilata:

$$l = l_0 (1 + \lambda \cdot \Delta t)$$

- Equivalente mecánico del calor: $4{,}18\ J = 1\ cal$.
- La energía interna, U, de un cuerpo es la suma de todas las formas de energía que poseen sus partículas: átomos, moléculas e iones.
- Primer principio de la termodinámica

  La variación de energía interna de un sistema es igual a la suma del calor, Q, y el trabajo, W, intercambiados con el exterior.

$$\Delta U = Q + W$$

- Una **máquina térmica** es un dispositivo que, actuando de manera cíclica, transforma el calor suministrado por un foco calorífico en trabajo mecánico.

  Rendimiento de una máquina térmica:

$$r = \frac{W}{Q_1} \qquad 0 < r < 1$$

Actividades

1. **Transforma** en Kelvins y en grados Fahrenheit la temperatura de 110 °C
2. **Explica** brevemente en qué se basa el funcionamiento de un termómetro de líquido.
3. Un objeto de cobre ($c = 385\ J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$) de 1,5 kg que está inicialmente a 11 °C absorbe 8 085 J de calor. **Halla** su temperatura final.
4. Una pieza de bismuto ($c = 123\ J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$) de 110 g que inicialmente está a 2 °C se introduce en una vasija que contiene 540 g de hielo ($c = 2\,090\ J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$) a 25 °C. **Determina** la temperatura de equilibrio.
5. ¿Qué nombre recibe el cambio de estado que consiste en el paso de gas a líquido?
6. ¿Qué cantidad de calor debemos suministrar a 225 g de agua que están a 100 °C y 1 atm para transformarlos totalmente en vapor de agua? ($L_v = 2\,257\,000\ J \cdot kg^{-1}$
7. Un hilo de cobre tiene una longitud de 875 m a 10 °C. ¿Cuál será su longitud a 100 °C?
8. Una pieza de bismuto ($c = 123\ J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$) de 110 g que inicialmente está a 2 °C se introduce en una vasija que contiene 540 g de hielo ($c = 2\,090\ J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$) a 25 °C. **Determina** la temperatura de equilibrio.
9. Una máquina térmica absorbe 15 000 J de un foco de calor y cede 4 200 J a un foco frío. **Calcula** su rendimiento.

Prohibida su reproducción

Para finalizar

1. Se mezclan 100 g de agua a 80 °C con 3 g de hielo a −20 °C. **Calcula** la temperatura final de la mezcla suponiendo que el estado final es agua líquida.

2. **Halla** la temperatura a la que se alcanza el equilibrio térmico cuando se mezclan 50 g de hielo a −10 °C con 300 g de agua a 80 °C. Supón que el estado final es agua líquida.

3. Se mezclan 5 g de vapor de agua a 120 °C con 80 g de agua a 40 °C.**Calcula** la temperatura en el equilibrio térmico suponiendo que el estado final es agua líquida.

4. **Determina** la temperatura de equilibrio que se obtiene cuando se mezclan 100 g de vapor de agua a 110 °C con 500 g de hielo a −10 °C. Supón que el estado final es agua líquida.

5. Supón que dejas al aire libre un vaso con agua caliente. **Describe** los cambios que experimentarán el aire y el agua al cabo de algún tiempo.

   — **Justifica** estos cambios explicando el comportamiento de las moléculas.

6. Mezclamos dos cantidades de agua diferentes a distintas temperaturas. **Indica** si son verdaderas o falsas las siguientes afirmaciones:

   - Pasará calor desde el agua que tiene más energía interna a la que tiene menos.
   - Pasará calor desde el agua que está a más temperatura a la que está a menos.
   - Pasará calor desde el agua que tiene más masa a la que tiene menos.

7. El punto de ebullición de cierto gas es de 63 K.

   Expresa esta temperatura en grados Celsius y en grados Fahrenheit.

8. Para lograr que una pieza de 0,300 kg de cierto metal aumente su temperatura desde 40 °C a 60 °C ha sido necesario suministrarle 2 299 J. **Calcula** el calor específico del metal.

9. **Calcula** la temperatura inicial de una pieza de 200 g de cierto metal ($c = 459{,}8\ \mathrm{J \times kg^{-1} \times K^{-1}}$) si después de absorber 20 900 J, su temperatura ascendióa 280 °C.

10. Una pieza de 5 kg de un determinado metal ($c = 460\ \mathrm{J \times kg^{-1} \times K^{-1}}$) se enfría desde 1 200 °C hasta 40 °C al colocarla en agua cuya temperatura inicial era 10 °C. **Calcula** la masa de agua empleada.

11. Colocamos en un calorímetro 0,250 kg de agua a 15 °C y 0,080 kg de un metal a 100 °C. **Calcula** la temperatura del equilibrio térmico si el calor específico del metal es $878\ \mathrm{J \times kg^{-1} \times K^{-1}}$.

12. **Calcula** la cantidad de calor que se intercambia al:

    — Transformar 3 L de agua líquida a 24 °C en vapor de agua a 120 °C.

    — Transformar 20 g de vapor de agua a 100 °C en hielo a −10 °C.

13 **Calcula** la masa de vapor de agua a 100 °C que debemos añadir a 100 L de agua líquida a 17 °C para conseguir una temperatura de equilibrio de 40 °C.

14 Una barra de metal de 170 g tiene una longitud de 20 cm a la temperatura de 25 °C. **Calcula** su longitud cuando absorbe 4 233 J de calor. (Calor específico del metal, $c = 498\ J \times kg^{-1} \times K^{-1}$; coeficiente de dilatación lineal del metal, $\lambda = 3 \times 10{-}5\ K^{-1}$)

15 Un gas ocupa 500 cm3 a 25 °C. ¿Qué volumen ocupará si se calienta a presión constante hasta 60 °C?.

16 Un motor con un rendimiento del 70 % extrae en cada ciclo 15 000 J de un foco a alta temperatura.

Calcula:

a. El trabajo que realiza.

b. El calor suministrado al foco a baja temperatura en cada ciclo.

17 Sobre una masa de 24 kg de etanol a 10 °C realizamos un trabajo mecánico con un agitador. Si el trabajo se transforma íntegramente en calor, calcula cuánto trabajo debemos realizar para aumentar la temperatura del etanol a 75 °C. (Calor específico del etanol, $c = 2\ 424\ J \times kg^{-1} \times K^{-1}$)

18 Supongamos que queremos enfriar una barra de hierro en agua. (calor específico del hierro, 443 $J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$, calor específico del agua, 4 180 $J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$).

a. Programa en una celda la fórmula que calcule automáticamente la temperatura de equilibrio.

b. **Modifica** a voluntad los valores iniciales de las masas de agua y de hierro y las temperaturas iniciales, y **observa** la temperatura de equilibrio resultante.

19 **Busca** ilustraciones que muestren el funcionamiento de la máquina de vapor y **elabora** una presentación con un programa informático.

20 Un calentador doméstico eleva la temperatura de 5 kg de agua desde 20 °C a 80 °C en 10 min. ¿Cuántos julios proporciona el calentador en cada minuto si se supone que sólo el 80 % del calor que suministra es aprovechado realmente?

21 Una carretilla cargada con ladrillos tiene una masa total de 23 kg y es empujada por un operario con velocidad constante. La carretilla se mueve 12 m sobre una superficie horizontal siendo el coeficiente de rozamiento en movimiento entre el suelo y la carretilla de 0,5. **Calcula**:

a. la fuerza aplicada por el operario para mover la carretilla y el trabajo que realiza;

b. el trabajo de la fuerza de rozamiento.

c. el trabajo total sobre el sofá.

EVALUACIÓN

Reflexiona y **autoevalúate** en tu cuaderno:

- Trabajo personal

¿Cómo ha sido mi actitud frente al trabajo? | ¿He cumplido mis tareas? | ¿Qué aprendí en esta unidad?

- Trabajo en equipo

¿He compartido con mis compañeros y compañeras? | ¿He respetado las opiniones de los demás?

- **Escribe** la opinión de tu familia.

- **Pide** a tu profesor o profesora sugerencias para mejorar y **escríbelas**.